

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи

Зверева Ольга Михайловна

**Управление сетями коммуникаций в социальных и экономических  
системах, обладающих свойством аутопоэза**

Специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах»  
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: д-р ф.-м. наук,  
профессор Берг Дмитрий Борисович

Новосибирск - 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1    СОВРЕМЕННОЕ    СОСТОЯНИЕ    ТЕОРИИ    УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ И СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ .....	10
1.1    Кризисное состояние мейнстримов в экономике и социологии .....	10
1.2    Этапы развития кибернетики как теории управления в свете научной рациональности .....	15
1.3    Теория аутопоза.....	25
1.4    Коммуникации и их моделирование .....	35
1.5    Постановка задачи управления коммуникациями в АС .....	51
1.6    Выводы по первой главе .....	57
2    СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СЕТЕЙ И АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	60
2.1    Основы структурного анализа сети коммуникаций .....	60
2.2    Методика структурного анализа сетей коммуникаций.....	70
2.3    Методика определения аутопоза в системе.....	82
2.4    Агент-ориентированная технология и выбор среды моделирования .....	89
2.5    Комплекс агент-ориентированных моделей (АОМ) экономических коммуникаций.....	103
2.6    Результаты и выводы по второй главе.....	112
3    ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕЙ КОММУНИКАЦИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ .....	114
3.1    Структура сетей коммуникаций в социальных и экономических системах .....	114
3.2    Структурный анализ сетей экономических коммуникаций .....	127

3.3	Динамика коммуникаций в модельной сети экономических агентов .....	141
3.4	Методический подход к управлению сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза .....	165
3.5	Выводы по третьей главе .....	174
	ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.....	177
	ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, АББРЕВИАТУР И ТЕРМИНОВ.....	179
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	180
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	199
	Современный взгляд на теории управления и теории систем.....	199
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	203
	Данные по группам .....	203

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность и разработанность темы исследования.

Коммуникативность (обмен потоками вещества, энергии, информации и др. с внешней средой) является неотъемлемым свойством любой системы. Существование социальных или экономических агентов без коммуникаций с другими агентами невозможно. Вследствие этого социальные и экономические системы приобретают сетевую структуру, где сети образованы однократными или повторяющимися коммуникационными процессами.

В экономической кибернетике традиционно используются модели типа «затраты-выпуск», они построены в соответствии с принципами кибернетики первого порядка Н. Винера, которая рассматривает объект и субъект управления изолированно друг от друга. При этом объект управления представляется «черным ящиком», который испытывает приходящее извне от субъекта управляющее воздействие. Сам субъект в расчете по таким моделям в явном виде отсутствует. Управление осуществляется на основе передаточной функции, а его параметры определяются теоремой Эшби о необходимом разнообразии.

В такой ситуации внутренняя структура объекта управления, история его предшествующих состояний практически недоступны для анализа со стороны внешнего субъекта, и, следовательно, не могут быть использованы в управлении. Разделение субъекта и объекта управления и игнорирование внутренних свойств объекта управления является полностью корректным только для технических объектов с фиксированной передаточной функцией (тривиальных машин).

Для управления нетривиальными машинами целесообразно использовать подходы кибернетик более высоких порядков, в частности, кибернетики второго порядка Х. фон Ферстера, к которой относят теорию аутопоэза. Теорема замкнутости кибернетики второго порядка учитывает операциональную замкнутость систем процессов коммуникаций (социальных и экономических) и утверждает, что «в каждой операционально замкнутой системе возникает собственное поведение». Если это поведение состоит в циклическом повторении коммуникаций, то имеет место самовоспроизводство (аутопоэз)

социальной/экономической системы, представляющей собой сообщество взаимосвязанных агентов.

Таким образом, разработка подходов к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, является актуальной задачей экономической кибернетики.

**Цели и задачи диссертационной работы.** Целью данной работы является разработка методических подходов к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- поставить и формализовать задачу управления сетью коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, с целью повышения эффективности коммуникационного процесса и поддержание аутопоэза в системе;
- разработать методику структурного анализа сетей экономических и социальных коммуникаций, позволяющую выявлять отдельные аутопоэтические структуры и их паттерны;
- идентифицировать аутопоэтические паттерны в сетях экономических и социальных коммуникаций;
- разработать программный комплекс агент-ориентированных моделей (АОМ) коммуникаций в аутопоэтических системах экономических агентов, связанных производственными отношениями;
- предложить методические подходы к использованию различных типов управления сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза.

**Научная новизна** работы заключается в:

1. Разработке методики структурного анализа сетей коммуникаций в социальных и экономических системах, включающей расчет индивидуальных (для каждого узла) и групповых (для структур, состоящих из двух, трех и более узлов) параметров, в том числе – определение аутопоэтических паттернов (структурного

баланса) в сетях социальных и экономических коммуникаций (п. 8 Паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ);

2. Выявлении аутопоэтических паттернов сетей коммуникаций в социальных и экономических системах и расчете их количественных характеристик: в экономических системах такие паттерны образованы совокупностью циклических (замкнутых) цепей обмена различной размерности; в социальных системах они образованы комбинацией триад (структур из трех узлов с заданной конфигурацией связей) (п 5. Паспорта специальности);

3. Разработке комплекса агент-ориентированных моделей коммуникаций в экономических системах для агентов, связанных производственными отношениями; модели отличаются наличием макроэкономических ограничений в соответствии с межотраслевым балансом Леонтьева, использованием финансовых средств в коммуникациях между агентами и возможностью учета отдельных транзакций (п.3 Паспорта специальности);

4. Предложении обоснованных расчетах с помощью АОМ и по методике структурного анализа методических подходов к реализации различных типов управления в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза: институционального управления, управления структурой, управления составом, управления функционированием, позволяющих влиять на целевые параметры длительности коммуникационного этапа, его вариативности и на поддержание свойства аутопоэза в системе (п. 9 Паспорта специальности).

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

1. Методика структурного анализа сетей коммуникаций в социальных и экономических системах, позволяющая выявить и количественно оценить параметры структурного баланса сети;
2. Структурные особенности аутопоэтических паттернов в сетях социальных и экономических коммуникаций, которые заключаются в преобладании циклических контуров в экономических системах и определенного типа триад (структур из трех узлов) – в социальных системах;

3. Программный комплекс агент-ориентированных моделей коммуникаций, позволяющих учитывать каждую транзакцию между агентами (в условиях макроэкономических ограничений баланса Леонтьева);
4. Методические подходы к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, позволяющие комбинировать институциональное управление, управление структурой, управлением составом и управление функционированием на основе расчетных и экспериментальных зависимостей.

**Теоретическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы состоит в: постановке в общем виде задачи управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза; в разработке методик определения наличия и возможности сохранения свойства аутопоэза в социальных и экономических системах (сообществах) на основе применения агент-ориентированных моделей и методологии структурного анализа сетей коммуникаций.

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость работы состоит в разработке двух программных комплексов и рекомендаций по управлению локальными экономическими и социальными системами (сообществами). Созданный программный комплекс АОМ и программа структурного анализа сетей используются в образовательных программах бакалавриата и магистратуры УрФУ по направлениям подготовки: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 38.03.05 «Бизнес-информатика», 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», 09.03.03 «Прикладная информатика (в экономике)» (Акт внедрения от 07 мая 2017г.). Методика управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах используется в потребительском обществе «Достойная жизнь» для развития локальных предпринимательских сообществ (Акт внедрения от 19 мая 2017г.).

**Методология и методы исследования.** В работе используется методология экономической кибернетики и подходы кибернетики второго порядка, а также теория систем и системный анализ. В численных моделях использованы методы

агент-ориентированного моделирования, обработка данных проводилась с применением методов математической статистики. Созданная методика структурного анализа основана на методологии анализа социальных сетей (SNA-методологии), объединяющей методы реляционной алгебры, теории графов и социометрии.

**Степень достоверности результатов работы.** Достоверность результатов работы определяется логикой исследования, полнотой предложенных решений и согласованностью полученных автором результатов с данными информационной базы исследования. Достоверность работы подтверждается положительными результатами использования разработанных программных комплексов для обучения студентов современным методам и технологиям моделирования, а также эффективным внедрением разработанной методики в деятельность потребительского общества.

**Апробация результатов.** Основные результаты работы были представлены на международных и всероссийских конференциях: Всероссийской конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика - ИММОД-2013(Казань, 2013г.); 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization (Греция, 2014г.); XII Международной научной конференции по проблемам экономического развития в современном мире «Устойчивое развитие российских регионов: экономическая политика в условиях внешних и внутренних шоков» (Екатеринбург, 2014г.); 5th International<sup>4</sup> Multidisciplinary Scientific Geoconference (Болгария, 2015г.); 25 международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, 2015 г.); 4, 5 и 6 международных конференциях по анализу изображений, социальных сетей и текстов (Екатеринбург, 2015г., 2016г., 2017г.); 1st International Conference on Sustainable Cities (Екатеринбург, 2016г.); 14th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (Греция, 2016г.); International Conference on Applied Mathematics and Computer Science) (Италия, 2017г.)

По теме диссертации автором опубликовано 23 работы, из них 6 статей опубликованы в журналах из списка ВАК; 7 работ – в трудах и материалах



международных конференций; 10 работ индексируется в научных базах Scopus и Web of Science. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Личный вклад автора.** Основные результаты, постановка задачи, методика структурного анализа и комплекс программных агент-ориентированных моделей коммуникаций созданы автором лично. Программа структурного анализа сетей создана совместно со студентами 4 курса бакалавриата направления 09.03.01.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 208 страницах. Состоит из введения, 3 глав, заключения и двух приложений. Работа содержит 49 рисунков, 43 таблицы. Общее число использованных источников – 207.

# **1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ И СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ**

## **1.1 Кризисное состояние мейнстримов в экономике и социологии**

Мировой экономический кризис выявил необходимость разработки новых организационно-экономических механизмов управления экономическими системами. Организация производства и торговли должна быть основана на адекватной экономической теории. Этой теорией не может быть рыночная экономика (economics), нужна другая теоретическая и методологическая основа [70].

Третьему тысячелетию нужна новая социально-экономическая теория. Общеизвестно, что «управленческие решения необходимо принимать на основе всей совокупности социальных, технологических, экономических, экологических, политических факторов» [71-73].

При обсуждении экономической теории, следует иметь в виду, что это понятие слишком общее, существует множество течений, имеющих отношение к экономической науке. Известный российский экономист Полтерович В.М. утверждает, что при существующем многообразии можно говорить о некотором «единстве основного потока» (мейнстрима) экономических исследований, относящихся к сегодняшнему периоду времени, поскольку подавляющее их большинство опирается на один и тот же базовый понятийный и модельный инструментарий.

Кризисные явления обсуждают Руденков И.А. в [81], Мау В.А. в [59,60]. Подобные взгляды высказывают Ольсевич, который свою книгу он так и назвал «Современный кризис «мейнстрима» в оценках его представителей (предварительный анализ)» [70]. Основная идея произведения [70] состоит в том, что творцы экономических теорий не способны предвидеть крушения той системы, в построении которой они либо их последователи принимали активное участие.

Думная Н.Н. также пишет о кризисе экономической теории, определяя: «кризисным является такое ее состояние, когда она не способна выполнять свои функции, то есть решать проблемы, с которыми столкнулось общество» [26]. Полтерович В.М. определяет кризис сходным образом: «Состояние теории я называю кризисным, если доказано или весьма правдоподобно, что поставленные ею основные задачи не могут быть решены принятыми в теории методами..., происходит накопление ... фактов, свидетельствующих о принципиальной ограниченности ее методов» [77].

Не только российские ученые говорят о кризисе, с этим согласно и большинство иностранных ученых. О кризисе экономической науки писал нобелевский лауреат П. Кругман, его эссе так и называлось: «Как это экономисты так ошиблись? Приняв красоту за истину», а заключение имело следующий вид: «...основной причиной провала профессии было стремление развить всеохватывающий интеллектуально элегантный подход, который к тому же давал бы экономистам возможность продемонстрировать их математическое мастерство» [155]. В своем эссе он показывает, что то, что долгое время считалось основным – рыночный подход, при котором рынок считается эффективным инструментом, а все агенты, действующие на нем, ведут себя рационально, – никак не объясняет явлений, происходящих в современной экономике.

Одно из основных положений мейнстрима – человек рационален и стремится к максимальной выгоде. Экономисты считают, что в экономических взаимодействиях человек ведет себя как *Homo economicus* – расчетливый и эгоистичный субъект, который заботится только о своей выгоде. Как убедительно показал Ф. Мировски в книге «Больше тепла, чем света» [165], образцом для подражания в построении формальных математических моделей для неоклассических экономистов стала ньютоновская классическая механика: экономический агент фактически описывается в этих моделях как лишенное свободы абстрактное тело, которое движется по наикратчайшей траектории под воздействием импульса движения и гравитационного притяжения.

В том случае, если агенты осуществляют рациональные выборы, последовательность моментальных равновесий составляет долгосрочное равновесие, или гарантированный путь [136]. Теория социального выбора свидетельствует об обратном. Основа ее – теорема о невозможности, суть ее в том, что не существует рационального правила общественного выбора, учитывающего мнение всех членов общества.

В 2002г. Нобелевскую премию по экономике получил профессор Принстонского университета Д. Канеман за исследования механизмов принятия решений индивидуумом в условиях неопределенности и риска. Оказалось, что эти решения не всегда так рациональны, как хотелось бы большинству экономистов. Основной тезис теории перспектив Канемана-Тверски состоит в том, что люди иррациональны при оценке вероятностей возможных альтернатив [37], т.к. принимают решения на основании ограниченного объема информации, которая к тому же во многом недостоверна.

Дутта и Раднер математически доказали, что в неопределенном мире правила поведения фирмы, максимизирующие вероятность ее долгосрочного выживания, не совпадают с теми, которые максимизируют ее прибыль [122].

Что явилось предпосылкой кризиса в экономической науке? Полтерович В.М. в качестве такой предпосылки называет то, что экономическую науку попытались сделать точной наукой по примеру физики.

История показала, что создать экономику по образу и на принципах точных наук невозможно. Полтерович В.М. обосновывает эту невозможность 4 тезисами:

1. эмпирические исследования не обнаруживают фундаментальных экономических зависимостей между экономическими переменными;
2. развитие теории привело к доказательству целого ряда теорем, свидетельствующих о невозможности получить ответы на важнейшие вопросы в рамках естественных постулатов;
3. экономическая действительность настолько подвижна, что скорость ее изменения опережает темпы ее изучения. В начале восьмидесятых годов прошлого

века появилась развитая теория плановой экономики. Сейчас плановая экономика практически исчезла. Действительность изменилась быстрее, чем была понята;

4. выводы из экономических теорий довольно быстро становятся достоянием массы экономических агентов и влияют на формирование ожиданий (эффект рефлексии).

В настоящее время очевидно, что многообразие экономических явлений не может быть объяснено на основе небольшого числа фундаментальных закономерностей. Интуитивное понимание этого положения привело к замене принципа единства теории на принцип сосуществования конкурирующих концепций.

Теоремы и концепции, описанные выше и составляющие основу сегодняшнего экономического мейнстрима, верны с формальной точки зрения – именно как математические теоремы, но их предпосылки практически никогда не выполняются в реальности. Именно поэтому экономисты и стали интересоваться ситуациями, в которых правила игры определяются не наилучшим образом, агенты не так рациональны и обладают индивидуальными особенностями, что обусловило их интерес к таким смежным гуманитарным областям как политология, социология, психология.

По мнению Н.Н. Думной следует обратиться к вопросам методологии. В качестве такой методологии предлагается системный анализ [27], при этом отмечается, что эту методологию можно считать метаметодологией, т.к. она применима к системам разного типа: техническим, природным, экономическим, социальным и т.д.

В.Н.Спицнадель, один из ведущих специалистов в области системологии, автор учебника по системному анализу, писал: «Многие теории, получившие огромное влияние в науке, являются нематематическими по своему характеру, а в других случаях лежащие в их основе математические конструкции осознаются позднее и охватывают лишь отдельные аспекты соответствующих эмпирических данных... Вероятно, лучше иметь сначала какую-то нематематическую модель со всеми ее недостатками, но охватывающую некоторый незамеченный ранее аспект

исследуемой реальности и позволяющую надеяться на последую разработку соответствующего алгоритма, чем начинать со скороспелых математических моделей» [85].

Основными методами для решения экономических проблем должны стать методы и теоретические основания теории систем и кибернетики, а в качестве одной из возможных технологий исследования можно предложить имитационное моделирование, причем это не исключает использования и аналитических моделей в качестве основы для создания имитационной модели.

Социологи, как и экономисты, говорят о кризисе в своей области. В статье [186] приводится краткий анализ двух книг: 1970 года издания, названная «Наступающий кризис западной социологии», автор А. Гоулднер и 1999 года издания «Кризис в социологии. Необходимость в Дарвине», авторы Дж. Лоперано и Т. Криппен. Несмотря на разницу во взглядах на политизированность этой науки, авторы обеспокоены научным статусом социологии, и направлением исследований, которые проводятся и должны проводиться, чтобы создать прочное основание для понимания современного общества.

С. Скирбек в статье [186] задает вопрос: «Должны ли социологи быть удовлетворены своей ролью наблюдателей, комментирующих существующую социальную политику, или поставщиков ответов на вопросы, поставленные кем-то другим?». Отвечая на этот вопрос «нет», он приводит 3 примера, где социологи не смогли ответить на поставленные вопросы, и не оправдали ожиданий общества (т.е. имеет место кризис науки, как его представляет Полтерович). Первый пример – распад СССР и перемены в странах восточной Европы. Второй пример – антизападные выступления мусульман (а сейчас эмиграция мусульман в Европу), социологи не смогли понять происходящие национальные процессы. Третий пример демонстрации кризиса – это существование культуры, подрывающей экологию. Общество в состоянии равновесия (по Парсону) должно опираться на культуру, предполагающую такой образ жизни, который соотнесен с природными ограничениями.

## 1.2 Этапы развития кибернетики как теории управления в свете научной рациональности

В.Е. Лепский в [44-46] предлагает рассматривать развитие науки об управлении в соответствии с развитием научных идей в целом, которые, в свою очередь, можно разбить на этапы, используя в качестве основного критерия научную рациональность. Выделяют три этапа развития науки, которые сменяли друг друга в истории техногенной цивилизации, они соответствуют классической, неклассической и постнеклассической рациональности. Эти этапы представлены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Базовые аспекты философско-методологического анализа эволюции представлений об управлении

Тип научной рациональности	Базовая парадигма управления	Базовые объекты управления и виды активности субъектов	Базовые модели субъектов	Базовые научные подходы	Базовые обеспечивающие области знания	Базовый тип управления	Разработчики теорий
Классический	Субъект-объект	Сложные системы (наблюдаемые системы) Деятельностная активность	Аналитические (математические)	Монодисциплинарный Деятельностный	Кибернетика первого порядка, позитивизм	Жесткое управление (обратная связь, черный ящик)	Н. Винер, У. Эшби, С. Бир
Неклассический	Субъект-субъект	Активные системы (наблюдающие системы) Коммуникативная активность	Имитационные, ролевые, деловые	Междисциплинарный Субъектно-деятельностный	Кибернетика второго порядка, философский конструктивизм	Рефлексивное, информационное (аутопоэз)	Х. фон Ферстер, Н. Луман, Ф. Варела, У. Матурана
Постнеклассический	Субъект-полисубъектная среда	Саморазвивающиеся системы Рефлексивная активность	Субъектно-ориентированный	Трансдисциплинарный Субъектно-ориентированный	синергетика, социальная кибернетика, концептуальная кибернетика, эвергетика, гомеостатика, теория управления	Средовое, сетевое управление (самоорганизация, саморазвитие)	Г. Хакен, И. Пригожин, С. Амплби, В. Лефевр, Г.С. Теслер, В.А. Виттих,

### 1.2.1 Классическая рациональность. Кибернетика первого порядка

На этапе классической рациональности исследовались объективные законы природы, существующие вне человека. В центре внимания были субъект-объектные отношения. Базовой обеспечивающей дисциплиной для классической рациональности является кибернетика первого порядка.

Термин «кибернетика» в современном понимании – как «наука об управлении и связи в животном и машине» – впервые был предложен Норбертом Винером в 1948 году [13], далее к объектам, изучаемым этой наукой, было добавлено общество. Классиками первого этапа развития кибернетики, помимо Н. Винера, являются Уильям Эшби и Стаффорд Бир, сделавшие акценты, соответственно, на биологических и экономических ее аспектах.

В классической кибернетике (кибернетике первого порядка) основное внимание уделяется объекту управления. Делается попытка найти законы управления, общие для объектов разной природы – механических, живых и социальных систем. Изучается даже не сам объект и его структура, а его поведение. Для самого объекта вводится абстракция «черный ящик». Эшби писал: «Кибернетика изучает не предмет, а поведение. Она задает вопрос не «Что представляет собой объект?», а «Что делает объект?»» [101].

Для изучения поведения объекта наблюдатель моделирует это поведение. С этой целью вводится концепция системы. Система характеризуется набором переменных. Переменные – это свойства изучаемых предметов (конкретных сущностей или процессов), которые, имея в виду определенную цель исследования, должны быть приняты во внимание. Конкретный набор значений переменных набора, составляющих систему, обозначается как состояние системы.

При моделировании поведения системы необходимо решить две задачи: понять, как система функционирует, и как она реагирует на внешнее воздействие. Следует различать два типа воздействий на систему: возмущения – действия, направленные на изменения поведения системы на «неправильное», и регулирующие действия, направленные на «исправление» поведения системы.



Под регулированием понимается целенаправленное стремление изменить поведение системы. Начальной точкой для обсуждения вопросов регулирования можно считать высказывание Эшби: «Неотъемлемым признаком хорошего регулятора является то, что он блокирует поток разнообразия, инициируемый возмущениями и воздействующий на существенные переменные» [101] (закон необходимого разнообразия).

Исследование задач управления в экономических системах в данной работе проводится в рамках направления, получившего название «экономическая кибернетика». Экономическая кибернетика (ЭК) – научное направление, занимающееся исследованием и совершенствованием экономических систем на основе положений общей теории кибернетики [63].

Одной из наиболее известных работ, относимых к направлению экономической кибернетики, считают работу Л. Канторовича, за которую он в 1975 году получил (совместно с Т.Ч. Купмансом) нобелевскую премию по экономике «за вклад в теорию оптимального распределения ресурсов». В дальнейшем направление экономической кибернетики развивалось в работах Л.И. Абалкина и С.С. Шаталина, последний из которых основал и длительное время возглавлял кафедру экономической кибернетики в МГУ. Все работы Канторовича, Абалкина, Шаталина основаны на кибернетике первого порядка (кибернетике Винера).

### **1.2.2 Неклассическая рациональность. Кибернетика второго порядка**

Переход в управлении от парадигмы «субъект–объект» к парадигме «субъект–субъект» (см. Таблицу 1.1) привел к новым представлениям о видах управления. Противопоставление объекта и исследователя (субъекта) оказалось продуктивным лишь для «не наделенных психикой» объектов. В случае, когда исследователю противостоит объект, «наделенный психикой», отношение между исследователем и объектом превращается в отношение между двумя исследователями, каждый из которых является объектом по отношению к другому. Объекты становятся сравнимыми с исследователем по совершенству [45, 46]. Такой подход рождался в рамках общей теории систем и кибернетики второго

порядка («кибернетики кибернетики»), в переходе от рассмотрения «наблюдаемых систем» к рассмотрению «наблюдающих систем».

Идея активного объекта (объекта-исследователя) была положена Х. фон Фёрстером в основание кибернетики второго порядка – кибернетики наблюдающих систем. Если кибернетика первого порядка делает акцент на «жесткое управление» («субъект–объектный» контекст), кибернетика второго порядка должна ориентироваться на «субъект-субъектные» формы управления, на более «мягкие» формы [100].

В отличие от Эшби, который утверждал, что регуляторы могут «объективно выбрать» переменные и параметры системы, вывести правила преобразований, основываясь на методе проб и ошибок, фон Ферстер считал, что большинство систем, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни, невозможно изучить, не имея некоторого прошлого знания. Для того чтобы решить проблему выбора (переменных, параметров, их значений) и описать поведение системы, очень важно то, как мы, обозреватели, представляем себе системы и их поведение.

«Все сказанное сказано наблюдателем», – писал апологет кибернетики второго порядка Матурана» [164]. Основной объект изучения кибернетики первого порядка – наблюдаемые системы, кибернетика второго порядка использует те же концепции для изучения наблюдателя (наблюдающей системы), одна из книг фон Ферстера так и называется «Наблюдающие системы» [195]. Таким образом, кибернетика второго порядка – это наблюдение систем, которые наблюдают, при этом используется аппарат кибернетики первого порядка (см. Рисунок 1.1).

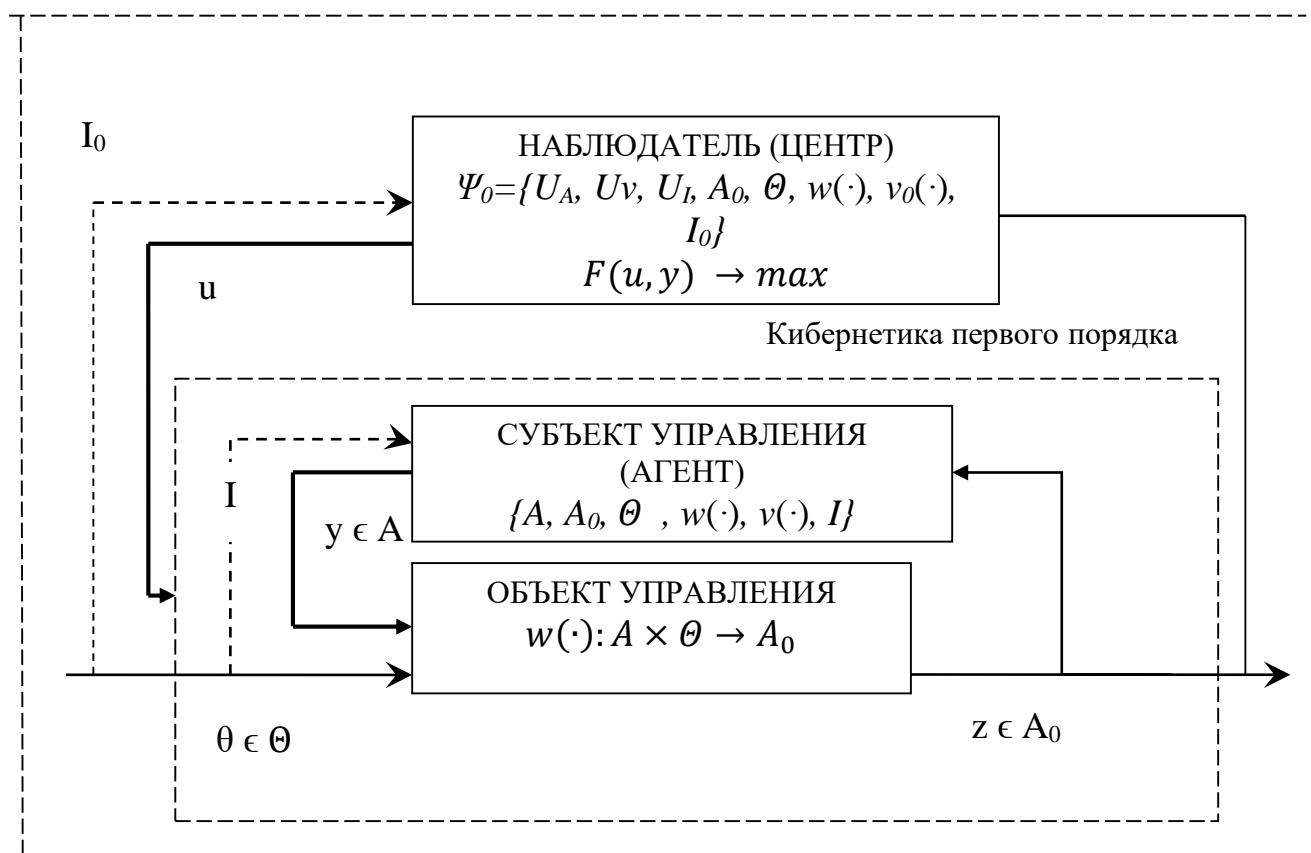


Рисунок 1.1 – Взаимодействие кибернетик первого и второго порядков

Кибернетика первого порядка имела дело с тривиальными машинами – с системами, имеющими постоянное отношение между входом и выходом. Большинство систем, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни – это не тривиальные машины. Основным отличием не тривиальной машины от тривиальной является то, что поведение не тривиальной машины зависит не только от входов, но и от внутреннего состояния самой машины, которое также может меняться, например, в зависимости от предшествующих ее состояний.

Выход нетривиальной машины зачастую определяется внутренним состоянием, недоступным наблюдению, и не является реакцией на входной стимул. Это свойство называется *операциональной замкнутостью*. Система воспринимает и усиливает что-то незначимое с точки зрения внешнего наблюдателя и игнорирует то, что он считает входным сигналом, проявляет внутреннюю детерминацию, следует собственным законам. Входной толчок может запустить цепь рекурсивных внутренних изменений, но их итог зависит не столько от входа, сколько от

внутренних связей и свойств системы, которые тоже могут меняться. А внешние воздействия, среда лишь модулируют эту рекурсию [195].

Теорема закрытости фон Ферстера гласит: «В каждой операционально замкнутой системе возникает собственное поведение» [196]. Варела определял эту теорему как центральный принцип кибернетики второго порядка.

Необходимо отметить, что, в отличие от классической кибернетики, кибернетика второго порядка носит концептуально-философский характер (показательным является то, что соответствующие научные работы вообще, как правило, не содержат формальных моделей, алгоритмов и т.п.) [66].

### 1.2.3 Принятие решений субъектом в кибернетике второго порядков

На Рисунке 1.1, отображающем взаимоотношения кибернетик первого и второго порядков, показаны также модели принятия решений исследователем (или в терминологии теории управления – Центром) и субъектом управления (Агентом).

В рамках представления предпочтений агента в терминах функции полезности его модель принятия решений описывается следующим кортежем [67]:

$$\Psi = \{A, A_0, \Theta, v(\cdot), w(\cdot), I\} \quad (1.1)$$

где:

- $A$  – множество допустимых действий ( $y$  – отдельное допустимое действие  $y \in A$ );
- $A_0$  – множество допустимых результатов деятельности ( $z$  – возможный результат  $z \in A_0$ );
- $\Theta$  – множество возможных состояний внешней среды (неопределенности);
- $v(\cdot)$  – функция полезности;
- $w(\cdot)$  – функция связи между действиями, состояниями внешней среды и результатом деятельности;
- $I$  – информация, которой обладает агент на момент принятия решений.

Управление – это воздействие на управляемую систему. Так как управляемая система (в кибернетике второго порядка – управляемый субъект, или агент) описывается кортежем  $\Psi$ , то внешнее воздействие в общем случае может быть

направлено на каждый из элементов этого кортежа. Выделим три группы переменных (элементов кортежа  $\Psi$ , которые могут изменяться):

- допустимые множества  $A$  и  $A_0$ ;
- функция полезности  $v(\cdot)$  и функция связи между действиями, состояниями внешней среды и результатом деятельности  $w(\cdot)$ ;
- информация, доступная агенту ( $I$ ).

Этим трем группам переменных соответствуют три типа управлений организационными системами (основание классификации – группа переменных, описывающих модель принятия решений, на изменение которых направлено управление):

- институциональное управление (изменение допустимых множеств);
- мотивационное управление (изменение функции полезности);
- информационное управление (изменение информации, которую агент использует при принятии решений).

Иногда приводят несколько другую классификацию [68,69], созданную на основе модели объекта управления. Согласно этой классификации модель ОС определяется:

- составом ОС (участников, входящих в ОС, т.е. ее элементов);
- структурой ОС (совокупности информационных, управляющих, технологических и других связей между участниками ОС);
- множеством допустимых стратегий (ограничений и норм деятельности) участников ОС, отражающих, в том числе, институциональные, технологические и другие ограничения и нормы их совместной деятельности;
- предпочтениями участников ОС;
- информированностью – той информацией о существенных параметрах, которой обладают участники ОС на момент принятия решений о выбираемых стратегиях;
- порядком функционирования, или просто, - функционированием (последовательностью получения информации и выбора стратегий участниками ОС).

По этому основанию можно выделить:

- управление составом;
- управление структурой;
- институциональное управление (управление ограничениями и нормами деятельности);
- мотивационное управление (управление предпочтениями и интересами);
- информационное управление (управление информацией, которой обладают участники ОС на момент принятия решений);
- управление функционированием (управление последовательностью получения информации и выбора стратегий участниками ОС).

Институциональное управление ( $u_A \in U_A$ ), является наиболее «жестким» и заключается в том, что центр целенаправленно ограничивает множества возможных действий и результатов деятельности агента. Такое ограничение может осуществляться явными или неявными воздействиями – правовыми нормами (административное и правовое управление), моральными нормами и т.д.

Мотивационное управление ( $u_v \in U_v$ ), является более «мягким», чем институциональное, и заключается в целенаправленном изменении предпочтений (функции полезности) агента. Такое изменение может осуществляться введением системы штрафов и/или поощрений за выбор тех или иных действий и/или достижение определенных результатов деятельности.

Наиболее «мягким» (косвенным), по сравнению с институциональным и мотивационным, и, в то же время, наименее исследованным (с точки зрения формальных моделей), является информационное управление ( $u_I \in U_I$ ).

Существует критерий эффективности функционирования системы  $K(u, y)$ , который зависит от управления центра  $u$  и от действия агента  $y$ . Допустим, в ходе исследования стала известна функциональная зависимость действия агента  $y$  на то или иное управление центра  $u$  (реакция агента):

$$y = G(u) \quad (1.2)$$

$G(u)$  – модель управляемого агента, которая описывает его реакцию на управляющее воздействие. Подставив эту зависимость в критерий эффективности

функционирования системы, получим функционал:  $F(u) = K(u, G(u))$ , который будет зависеть только от управления центра  $u$ . Этот функционал называется эффективностью управления системы. Задача управления состоит в поиске допустимого управления  $u$ , которое максимизирует эффективность управления организацией:

$$F(u) = K(u, G(u)) \rightarrow \max_{u \in U} \quad (1.3)$$

Таким образом, задача управления является оптимизационной задачей. Задача исследователя заключается в построении модели агента  $G(u)$ , которая для реальной организации может быть очень сложной [20].

#### 1.2.4 Кибернетики высших порядков

Постнеклассическая научная рациональность предполагает введение в контекст научных исследований и проблематики управления «полисубъектной среды», на фоне которой они проводятся, среды, которая включает в себя наряду с различными типами субъектов совокупность ценностей мирового культурного развития; среды, которая сама рассматривается как саморазвивающаяся система. Ключевыми для теории управления в рамках постнеклассической науки становится парадигма «субъект – полисубъектная среда» и парадигма «саморазвивающиеся полисубъектные среды» [45].

Для обозначения различных аспектов такого подхода к управлению используются термины «кибернетика третьего порядка» (кибернетика второго порядка, учитывающая авторефлексию), «кибернетика четвертого порядка» (кибернетика третьего порядка, учитывающая ценности исследователя), но эти термины являются в настоящее время скорее концептуальными и их значения еще не устоялись [66].

На Рисунке 1.2 показано развитие концепций кибернетики во времени. В Таблице 1.1 Приложения А дано краткое описание современных научных направлений, изучающих вопрос управления.

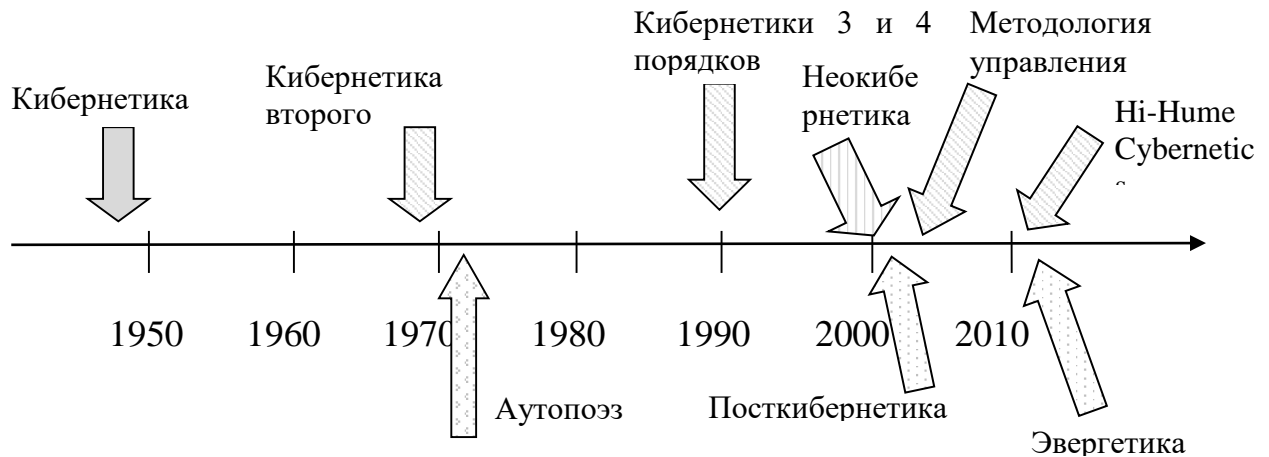


Рисунок 1.2 – История развития концептуальных подходов в кибернетике

К кибернетике высших порядков иногда относят и экономическую кибернетику. Экономическая кибернетика (ЭК) – научное направление, занимающееся исследованием и совершенствованием экономических систем на основе положений общей теории кибернетики. Сочетает в себе математику и кибернетику с экономикой. Впервые термин появился в начале 1960 гг. в трудах В.С. Немчинова, О. Ланге, Х. Грениевского, С. Вири. Они же наметили и основные направления развития этой новой науки, уделив особое внимание связи системного анализа экономики с теорией регулирования, логикой и теорией информации.

Одной из наиболее известных работ, относимых к направлению экономической кибернетики, считают работу Л. Канторовича, за которую он в 1975 году получил (совместно с Т.Ч. Купмансом) нобелевскую премию по экономике «за вклад в теорию оптимального распределения ресурсов». В дальнейшем направление экономической кибернетики развивалось в работах Л.И. Абалкина и С.С. Шаталина, последний из которых основал и длительное время возглавлял кафедру экономической кибернетики в МГУ.

Однако, экономическая кибернетика в существующем виде основана на кибернетике первого порядка, ее основные положения также включают понимание рынка как эффективного регулятора, а экономического агента как агента



рационального, полностью определяемого своей целевой функцией. Эти положения требуют пересмотра и перехода к концепциям кибернетики второго или более высоких порядков.

### 1.3 Теория аутопоэза

#### 1.3.1 Основные понятия и концепции

Теория аутопоэза (иногда употребляют термин «аутопоэзис») – одна из современных попыток рационально выразить критерий жизни. Авторы этой концепции – чилийские нейробиологи Умберто Матурана и Франциско Варела, работавшие в университете Сантьяго (второе название этой концепции – «теория Сантьяго»). Развивая и формализуя подход У.Матураны, разработанный в 60-х годах и изложенный в работе «Биология познания» [58], авторы пришли к определению *аутопоэтической системы*, формальной метатеоретической модели живого организма [193].

Этот термин был создан примерно в 1972 из греческих слов *auto* (сам-) и *poiesis* (создание; производство). Авторы дают следующее определение: «Аутопоэтическая система организована (определена как единство) как сеть процессов производства (трансформации и разрушения), состоящая из компонентов, производящих компоненты:

1. которые взаимодействуя и изменяясь регенерируют и реализуют сеть процессов (отношений) производящих их;
2. конституирующие ее (машину) как некоторое единство в пространстве, в котором они [компоненты] существуют, задавая топологическую область своих реализаций как такой сети» [192].

Согласно теории аутопоэза системы бывают 3 типов: аутопоэтические, гетеропоэтические и аллопоэтические [203]. Аллопоэтические системы – это не устойчивые системы, основная их цель – произвести что-то на «выход», но это не собственные их компоненты. Гетеропоэтические системы организованы таким образом, что их развитие устойчивым образом поддерживается внешними факторами. Аутопоэтические системы способны к поддержке своего собственного

развития за счет внутренних факторов. Гетеропоэтические системы демонстрируют устойчивое развитие благодаря спланированным целенаправленным действиям внешнего управляющего субъекта (центра). Для последних, устойчивое развитие – это свойство, присущее им в силу их аутопоэтической организации.

Теория аутопоэза привлекательна тем, что отвечает на вопрос, какую систему можно считать устойчивой и каковы условия поддержания такой устойчивости. Точного определения «устойчивой системы» до настоящего времени не существует, хотя существует уверенность в том, что устойчивая система лучше не устойчивой. Наиболее интересный случай – это не просто устойчивая система, а та, которая обеспечивает сама свою устойчивость, «самоподдерживаемая система» (self-sustainable) [204], иногда употребляется термин «эндогенно стабилизируемая система» [34].

Аллопоэтические системы не находятся в равновесии, гармонии с окружающей средой. Со временем они истощают окружающую среду и разрушаются сами. Гетеропоэтические системы устойчивы (в плане развития), пока функционирует разумный внешний стабилизирующий агент (центр). Аутопоэтические системы находятся в состоянии непрерывного сопряжения своей структуры и поведения с окружающей средой.

Любая бинарная система типа внешний управляющий агент (центр) – экзогенно стабилизируемая система может превратиться в самостабилизирующуюся систему путем рассмотрения внешнего агента в качестве составной части объединенной системы [35].

Основные описанные свойства систем разного типа сведены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Свойства систем в теории аутопоэза

Свойство	Тип системы		
	Аллопоэтические	Гетеропоэтические	Аутопоэтические
Управление	Внешнее регулирование	Внешнее регулирование	Саморегуляция
Производство	Выходной продукт	Выходной продукт	Свои компоненты

Продолжение Таблицы 1.2

Самовоспроизводимость	нет	нет	да
Устойчивость	нет	да	Да
Отношения с внешней средой	Истощают внешнюю среду	Взаимодействуют с внешней средой (эффективность зависит от внешнего управления)	Структурно сопряжены с внешней средой
Автономность	Организационно не замкнутые (не автономные)	Автономные	Автономные
Возможность преобразования в аутопоэтическую систему	Не возможно	Включение управляющего субъекта в состав системы	Является аутопоэтической системой

Рассмотрим известные систематизации кибернетических концепций в рамках теории систем.

Существует несколько теорий, претендующих на название теорий систем. Японские исследователи Х. Кавамото [149] и В. Хашимото [140] предложили классификацию этих теорий, которая разбивает все теории систем на 3 поколения (см. Таблицу А.2): первое поколение изучает динамические равновесные системы, второе – динамические неравновесные самоорганизующиеся системы и третье поколение систем изучает АС.

Большинство исследователей относят теорию аутопоэза к кибернетике второго порядка. Графически изобразил связь и различие концепций кибернетик первого и второго порядков В. Лефевр. Он представил кибернетическое пространство в форме куба (Рисунок 1.3), три ребра которого соответствуют трем фундаментальным «идеям-координатам»: структуре (X), вычислениям (Y) и рефлексии (Z) [47].

Традиционной кибернетике соответствует грань XY. Доминирующими на этой грани являются идеи структуры и вычислений: общие проблемы (0,0,0), алгебра (1,0,0), теория алгоритмов (0,1,0) и теория автоматов (1,1,0).

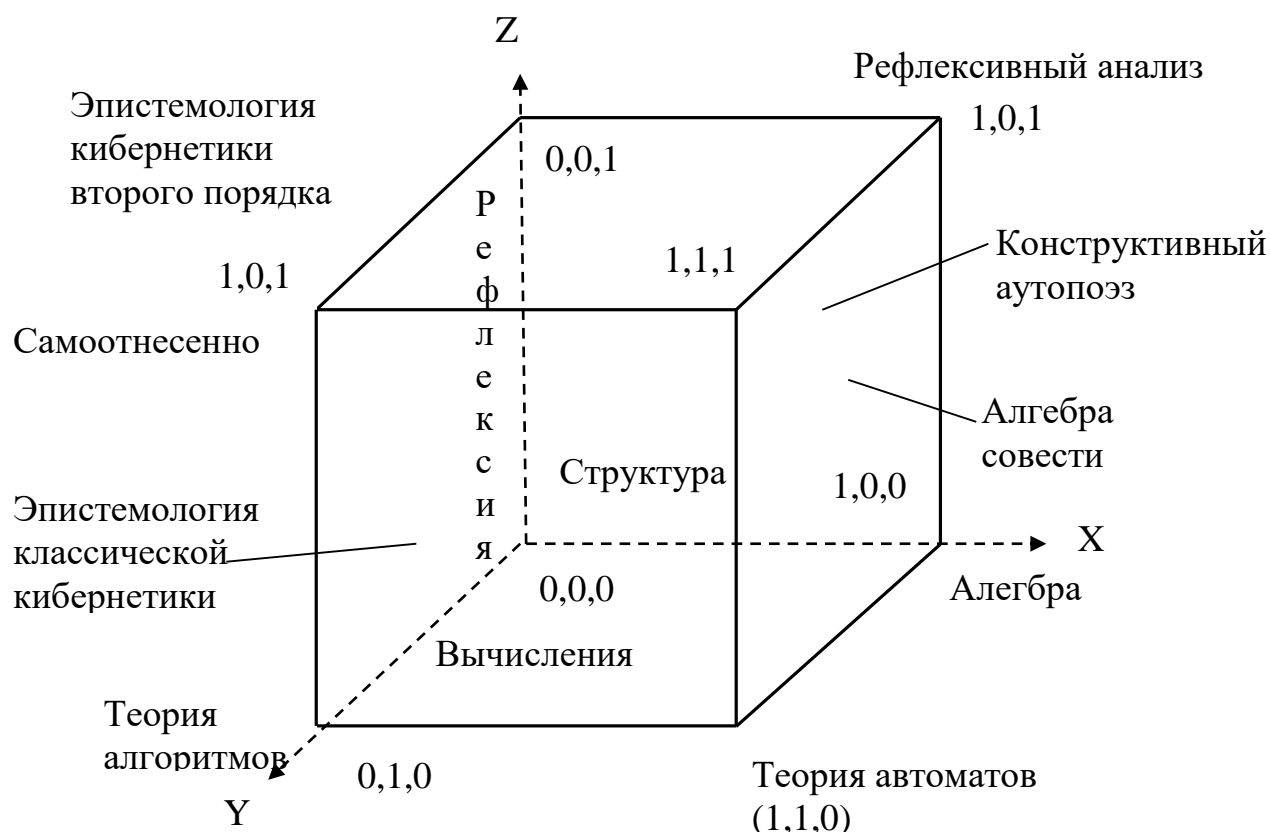


Рисунок 1.3 – Кибернетический куб Лефевра

Проблемы, связанные с самоотнесенностью, лежат на грани  $YZ$ . Понятие структуры на этой грани не имеет онтологической интерпретации (оно не используется ни для чего, что отличалось бы от процесса вычисления)

Рефлексивный анализ соответствует грани  $XZ$ . Здесь понятие вычислений не имеет онтологического смысла, отличного от процедуры структурирования информации.

Кибернетика второго порядка лежит на верхней грани.

Точка  $(1,1,1)$  соответствует синтезу всех трех фундаментальных понятий. Здесь находятся аутопоэтические системы.

### 1.3.2 Свойства аутопоэтических систем

Для описания АС используются следующие понятия:

1. элементы системы (неделимые компоненты системы, обеспечивающие ее самовоспроизводство);

2. организация («взаимоотношения, которые должны существовать между компонентами (элементами) системы для того, чтобы она относилась к определенному классу» [163], или «отношения, определяющие машину как сущность, и задающие динамику взаимодействий и трансформаций, которым она может подвергаться как сущность, конституируют организацию машины» [164]. Н. Луман называет организацию «структурной функцией». Моисеев В.И. использует понятие «паттерна» [64];

3. структура («определяется как компоненты (элементы) и связи, которые в действительности составляют конкретное единство и тем самым реализуют организацию» [163].

Любая динамическая система – это система, основанная на процессах. Эти процессы нуждаются в координации. Традиционно координация обеспечивается инструкциями и приказами (вида: «идти туда», «делать это»), в новой экономике подобную функцию должны осуществлять правила (вида: «если ..., то делать ...»). Процессы в этом случае не просто взаимно согласованы, но и объединены во взаимозависимые последовательности и цепочки, формируя сложные взаимозависимые параллельные и последовательные звенья, т.е. появляется сеть согласованных процессов. Сетевые взаимодействия при реализации правил координации – это и есть организация аутопоэтической системы (АС).

Структура фундаментально отличается от организации. Она определяет пространственно-временное распределение результирующих продуктов, произведенных скоординированными процессами. Структура – это своеобразное выражение существующей организации в том контексте и условиях, в которых правила были применены. Одна и та же организация может найти выражение во множестве различных структур. Структура – это «статический снимок (snapshot)», пространственно-временной способ организации элементов системы и ее выходов (продукции), выражение лежащей в ее основе рекурсивной динамической организации процессов и правил их координации [204]. Таким образом, организация – инвариант АС, структура постоянно изменяется.

Моисеев В.И. в [64] определяет условия, при выполнении которых система может считаться аутопоэтической:

1. Система представляет собою сеть взаимодействий на некотором множестве элементов. Под сетевой структурой здесь имеется в виду особый паттерн организации, в котором каждый элемент влияет на каждый (в смысле причинно-следственных отношений);
2. В качестве элементов сети выступают процессы;
3. Это физические процессы;
4. Это процессы воспроизводства системы, т.е. результатом этих процессов является постоянное восстановление и возможное изменение системы;
5. Граница сети – также один из элементов сети, т.е. она находится в сетевом взаимодействии со всеми остальными элементами;
6. Сеть содержит в себе самописание, т.е. она самореферентна.

У.П. Холл в [138] также выделяет схожие характеристики АС: имеющая границу, сложная, механистическая, самореферентная, самопроизводимая, автономная (операционально замкнутая).

АС является открытой системой (операциональная замкнутость не означает закрытости), Холл определяет это как механистичность [138]. Все внешние воздействия «структурно детерминированы», т.е. их эффект определяется структурой самой системы. Они вызывают структурные перестройки, возмущения внутри системы и ее целостный ответ. Роли АС и среды уравниваются. Говорят о процессе структурного сопряжения со средой, при котором не только в АС происходят адаптивные структурные перестройки, но и в среде происходят возмущения под воздействием системы.

Граница системы – это структурное выражение существующей в системе организации. В физических средах речь может идти о топологической границе. Для социальных систем граница может быть не такой явной. Граница соединяет (не отделяет) АС с ее средой. Граница – не периметр, а функциональный конструктивный элемент системы.

М. Желены определил минимальный набор процессов в системе, которые обеспечивают ее аутопоэз:

1. Процессы производства (poiesis): определяются правилами, управляющими появлением новых элементов; в качестве таких процессов могут рассматриваться ввод, рождение, членство, прием;
2. Процессы связывания (включения элементов-процессов в сеть): определяются правилами, управляющими объединениями (ассоциациями), а также взаимным расположением элементов и их взаимодействием;
3. Процессы распада (пополнения среды): определяются правилами исключения из членов, такими как смерть, потребление, выход и исключение. [204].

Процессы указанных типов должны быть сбалансированы между собой. Если преобладают процессы какого-либо одного или двух типов, то система будет аллопоэтической, способной к производству некоторого продукта, но не себя самой. Например, преобладание производства и связывания над распадом приведет к быстрому истощению среды, это приведет к остановке развития (как в случае процесса кристаллизации).

### **1.3.3 Особенности социальных и экономических аутопоэтических систем**

Одним из первых, кто применил теорию аутопоэза к социальным системам, был немецкий социолог Никлас Луман в своих трудах [156-159]. Согласно его теории социальные системы – это системы, обрабатывающие смыслы, именно это отличает их от любых других систем, в том числе биологических [181]. Об аутопоэзе Луман писал: «Аутопоэз – это такая организация, которая является своим «собственным состоянием», то есть таким производительным взаимодействием компонентов системы, результатом которого становятся именно эти компоненты» [51]. Аутопоэтической системой он называл систему, которая «воспроизводит составляющие ее элементы посредством тех элементов, из которых она состоит» [52]. Общество по Луману – это самовоспроизводящаяся и самоописываемая система, постоянно устанавливающая границы между собой и своей средой.

Социальная система – это сеть коммуникаций, которые производят коммуникации. Это означает, что коммуникации генерируют некоторые действия, которые распознаются как коммуникации и связываются с ранее произошедшими коммуникациями. За эти процессы генерации, распознавания и связывания отвечает организация системы. «Система не включает людей или действия, а только коммуникации» [157]. Социальные системы по Луману самореферентны: «Система постоянно обращается сама к себе, выделяя себя из среды» [158].

Луман описывает процесс самопроизводства как состоящий из трех этапов: генерации, распознавания и связывания. Этот набор отличается от предложенного в работах М. Желены. Происходит это потому, что элементы социальной системы (по Луману) – коммуникации, люди выведены за пределы системы. Коммуникация – это процесс, имеющий определенную длительность, ее не нужно завершать или уничтожать, ее окончание заложено в ней самой, поэтому группа процессов распада в такой схеме не нужна.

Н. Луман описывает действия по самопроизводству следующим образом:

1. Из существующих элементов системы генерируются «комплексы», которые имеют внутреннюю структуру, и у которых возникают свойства, которые позволяют распознавать их как элементы, которые можно включить в систему. Эти элементы имеют определенные свойства и свою структуру, и могут считаться потенциальными элементами системы. (Этап генерации, или производства);
2. Система изучает эти комплексы (Этап распознавания);
3. Если комплекс распознан как «правильный», то он включается во множество связанных элементов (Этап связывания).

Процесс производства элементов элементами циклический. Если элемент произведен, он становится участником производства новых элементов. Как регулируется процесс производства? Регулирование необходимо по 2 причинам. Если ничто не регулирует генерацию, распознавание и связывание, то в систему могут быть включены чужеродные элементы. И, если нет регулирования, то вновь включаемые элементы могут быть связаны не с теми элементами в системе.



То, что регулирует процесс производства элементов элементами, это и есть организация. Основная функция организации аутопоэтической системы – ограничить множество всех «комплексов объектов и процессов», которые система может произвести, подмножеством таких элементов, которые могут поддержать аутопоэтический процесс.

Для социальных систем термин «операциональной закрытости» трансформируется в термин «организационной закрытости» [95].

С точки зрения теории аутопоэза в мире глобальной конкуренции уже не так важно, какой продукт производит система, гораздо более важно, как она воспроизводит саму себя (т.е. как она обновляет свои возможности и способности производства). «Катализ действия, а не просто менеджмент – необходимый координационный навык в сетях. Аутопоэз – это организационная теория сетей» [205].

Каждая экономическая система выполняет двойственную задачу:

1. произвести нечто, отличное от себя самой, т.е. иметь некоторый выход – продукт, услугу или информацию (гетеропоэтическая составляющая);
2. произвести и потребить саму себя, т.е. обеспечить способность производства продукта, услуги или информации (аутопоэтическая составляющая).

Чтобы произвести что-либо, экономическая система сначала должна произвести себя, т.е. воссоздать и обновить свою способность к производству и координации своих действий.

#### **1.3.4 Теория аутопоэза как составная часть кибернетики второго порядка**

Сходство и различия концепций кибернетик первого и второго порядков и теории аутопоэза представлены в Таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Сравнение кибернетик первого и второго порядков и теории аутопоэза

№	Характеристика	Кибернетика 1 порядка	Кибернетика 2 порядка	Теория аутопоэза
1	Цель теории	Разработка методов по изучению и эффективному управлению сложными системами (предписывает)		Изучить процессы как возникает и поддерживается самовоспроизводство в системах (описывает)
2	Тип изучаемых систем (живые/не живые)	Тип неважен, изучаются общие закономерности управления		Важна тип системы, направленность на социальные и живые системы
3	Система	Набор переменных		Сеть процессов
4	Внешняя среда	Возмущения	Диссипативность	У каждой АС своя среда (то, что нужно для самопроизводства, влияет на систему)
5	Особенность поведения	Тривиальная машина	Не тривиальная машина (рефлексивность)	Рекурсивность, Рефлексивность [48], цикличность
6	Функция для описания поведения	$Y=F(X)$ X- вход Y-выход	$Y=F(X, Z)$ $Z=F(X, Z)$ Z-состояние системы	Организация системы как функция воспроизводства
7	Целеполагание	В модели	Тем, кто моделирует	Поддержание самовоспроизводства
8	Структура системы	Черный ящик (не изучает)	Внутреннее состояние принимается во внимание	Элементы, структура, организация
9	Регулирование	Пассивное, активное (по отклонениям, по возмущениям)	Регулирование, самоорганизация, саморегуляция	Саморегуляция, определенный вид самоорганизации, невозможность внешнего регулирования
10	Основные концепции	Закон разнообразия	Теорема замкнутости	Критерий жизнеспособности
11	Система	Открытая	Открытая, автономная	Открытая, автономная
12	Позиция наблюдателя	Вне системы	В системе	В системе
13	Объективность исследования	Объективно	Вероятностный характер	Вероятностный характер
14	Взаимодействие с внешней средой	Регулирование возмущений от внешней среды	Адаптация к возмущениям внешней среды	Своя внешняя среда у каждой АС, определяется тем, что нужно для самопроизводства и тем, что влияет на систему
15	Философское течение	Позитивизм	Конструктивизм	

## **1.4 Коммуникации и их моделирование**

### **1.4.1 Понятие коммуникации**

Как было определено выше, аутопоэтические системы – это сети коммуникационных процессов. Существует множество определений коммуникации. Американские ученые Ф. Дэнис и К. Ларсон обнаружили и проанализировали 126 таких определений [16].

Коммуникациями занимаются такие науки как философия, биология, социология, психология, лингвистика, технические науки (например, кибернетика), политология, экономическая теория и т.д. Для изучения этого междисциплинарного понятия появилось такое научное направление как теория коммуникаций. Коммуникация понимается и как некое протяженное действие (процесс) и как структура, поддерживающая связь между объектами (например, коммунальные коммуникации).

Можно выделить следующие разновидности понятия коммуникации [12]:

1. коммуникация как некое универсальное понятие, отражающее взаимодействие некоторых субъектов (теория коммуникаций);
2. коммуникация техническая (или пространственная), протекающая в реальном времени и пространстве (технические науки, экономическая теория);
3. биологическая коммуникация, обнаруживаемая при исследованиях сигнальных способов связи у животных, птиц, насекомых и т.д., отдельно здесь можно выделить генетическую коммуникацию;
4. социальная коммуникация, определяющая связи людей в обществе; чаще всего, используется именно это понятие коммуникации как специфической формы взаимодействия людей по передаче информации от человека к человеку, осуществляющейся при помощи языка и других знаковых систем.

К универсальным (необходимым) свойствам любой коммуникации можно отнести:

1. наличие двух субъектов, являющихся коммуникантами;

2. обязательно наличие передаваемого объекта, который может иметь материальную форму (товар, энергия, финансы, речь и т.д.) или не иметь такой формы (смыслы, передаваемые в социальной коммуникации);
3. наличие коммуникационного канала – линии связи, по которой происходит передача объекта; коммуникационный канал определяет, в каком виде и какими средствами осуществляется передача объекта;
4. наличие цели у коммуникации.

Исходя из перечисленных свойств, предлагают следующее определение термина коммуникации: «коммуникация есть опосредованное и целесообразное взаимодействие двух субъектов» [84]. Социология различает пять уровней исследования коммуникации [23, 24]:

1. интраперсональная коммуникация («разговор с самим собой», процесс обработки информации индивидом);
2. интерперсональная коммуникация (межличностное взаимодействие);
3. групповая коммуникация (исследования групповой динамики);
4. массовая коммуникация (сообщения направлены массовой аудитории через средства массовой информации);
5. коммуникация, в которой осуществляется обмен сообщениями с объектами, не являющимися людьми – с машинами и компьютерами.

В Таблице 1.4 приведены разные определения выявленных свойств коммуникации в разных областях научных знаний.

Таблица 1.4 – Свойства коммуникации

Характеристика коммун.	Общая теория коммуникаций	Технические науки (теория информации)	Экономическая теория	Социальные науки
1	2	3	4	5
Субъекты коммуникации	Коммуниканты: коммуникант – реципиент	Передатчик – приемник (технические устройства)	Производитель – потребитель (индивид. производитель, отдел, предприятие, отрасль, экономика, отд. страны и т.д.)	Коммуниканты (коммуникант – реципиент) Индивидуум, социальная группа, массовая совокупность

Продолжение Таблицы 1.4

1	2	3	4	5
Передаваемый объект	Материальный объект	Информация	Товар, деньги	Смыслы
Коммуникационный канал	Канал передачи объекта	Канал связи	Канал поставок (логистика)	Контакт
Функция	Перемещение объекта в некотором времени и пространстве	Передача сообщения адресату	Перемещение материального объекта в геометрическом пространстве	Перемещение идеальных объектов в социальном времени и пространстве (познавательная, оценочная, аффективная)
Цель	Передача объекта	Передача корректного сообщения (минимизация шумов)	Устойчивое функционирование экономической системы	Удовлетворение потребностей (пирамида Маслоу)
Примеры моделей	Модель Лассвелла	Модель Шеннона	Балансовые модели	Модели Лумана

### 1.4.2 Модели коммуникации

Одной из первых моделей коммуникации (ее считают классической) можно считать модель Лассвелла: Who says what to whom in which channel with what effect? Достоинство модели – акт коммуникации описан как процесс, состоящий из отдельных работ; кроме того, можно говорить об этом процессе как о бизнес-процессе, т.к. имеется определенная цель. Можно исследовать данный процесс и попытаться выдать рекомендации по его улучшению.

Недостаток данной модели в ее однонаправленности, в бихевиористском подходе: коммуникация описывается как воздействие на реципиента, свойства которого и его реакция на это воздействие никак не учитываются в модели.

Позднее модель была дополнена – требуется ответить еще на ряд вопросов: вопрос «кто?» дополнен «С какими намерениями?», «В какой ситуации?», «С какими ресурсами?», «Используя какую стратегию?», «Оказывает влияние на какую аудиторию?» [39].

Следующая известная модель – это информационная модель Шеннона – Уивера (Рисунок 1.4). Модель линейная, состоит из 6 элементов: источник,

кодирующее устройство, сообщение, канал, декодирующее устройство и получатель. Шеннон также ввел понятие шума и энтропии.

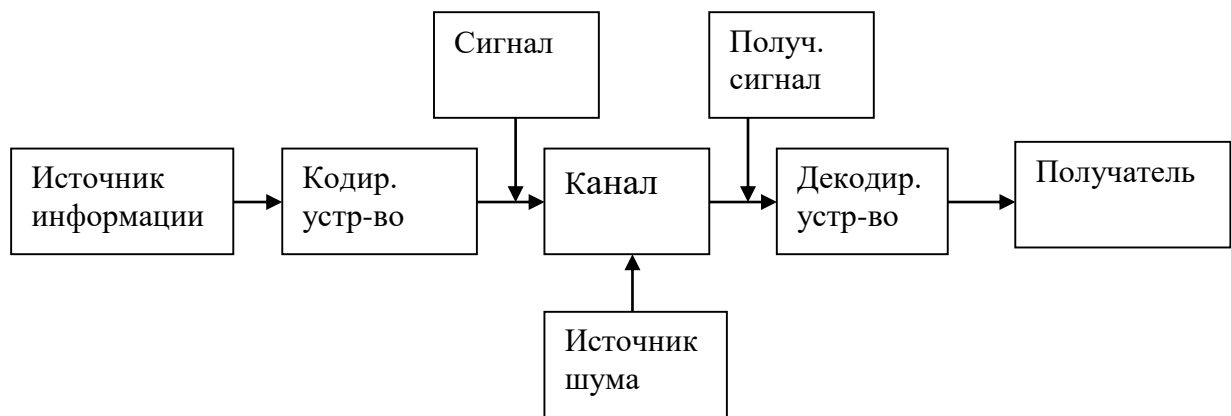


Рисунок 1.4 – Модель Шеннона-Уивера

Статичность модели Шеннона была восполнена понятием обратной связи. Это понятие позволяло сделать модель более близкой к реальности человеческого взаимодействия в коммуникации. Его введение было связано с проникновением идей кибернетики, в частности работы Норберта Винера.

Циркуляционная модель предложена в работах У. Шрамма и Ч.Осгуда. Они считали заблуждением считать коммуникацию линейным процессом, у которого есть начало и конец. Коммуникация – процесс бесконечный, циклический по своей природе, когда ее участники периодически меняются ролями. Коммуникация в этой модели трактуется как двунаправленный процесс связи, в котором отправитель и получатель сообщения в равной степени взаимодействуют друг с другом, обмениваясь сообщениями.

Основной акцент в этой модели делается на этап (работу) интерпретации сообщения, у каждого коммуниканта свои критерии, поэтому существует «семантический» шум. Когда реципиент способен к восприятию сообщения? Для реципиента в равной степени бесполезны сообщения, в которых содержатся лишь уже известные ему смыслы, и сообщения, состоящие из неизвестных смыслов. Первые отвергаются как бессодержательные (тривиальные), вторые — как непонятные (недоступные). Оптимальным является сообщение, в котором известное позволяет понять (раскодировать) неизвестное и сделать его достоянием

сознания реципиента. Стало быть, в сообщении должен соблюдаться баланс между известным и неизвестным реципиенту. Каков этот баланс? На этот вопрос отвечает модель, предложенная А.Молем.

Если рассматривать социальные коммуникации, то в [79] выделяются следующие группы моделей социальных коммуникаций:

- социологические и психологические модели коммуникаций;
- семиотические модели коммуникации (модель Романа Jakobsona, Юрия Лотмана и Умберто Эко);
- модели психотерапевтической коммуникации (модель Фрейда, модель Юнга, модель Лакаана);
- модели мифологической коммуникации (Бронислава Малиновского, Ролана Барта, Карла Юнга и Клода Леви-Строса);
- модели аргументирующей коммуникации;
- модели имиджевой коммуникации;
- модели пропагандистской коммуникации.

### 1.4.3 Сети коммуникаций

История использования сетевого подхода для анализа социальных систем рассмотрена в работах [19] и [56]. Выделяют 4 периода в развитии сетевого подхода в анализе социальных систем. Краткое описание приведено в Таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Периоды в развитии сетевого подхода в анализе социальных систем

Период	Время	Характеристики	Представители
«Предистория анализа социальных сетей» Л. Фриман [132]	середина 19 века – 20-е годы 20 века	Общество рассматривается в терминах взаимосвязей между индивидами	Социолог О. Конт, натуралист П.Хубер, антрополог Л.Г. Морган, этнограф и антрополог А. Радклифф-Браун,

Продолжение Таблицы 1.5

Период	Время	Характеристики	Представители
«Рождение и смерть сетевого анализа»	30-40-е годы 20 века	Разработка основ социометрического исследования. Рожденное в этот период направление не смогло широко распространиться	антрополог У.Л.Уорнер, социолог и, социальный психолог Д.Л. Морено
«Темные времена»	40-60-е годы 20 века	Сетевой анализ в это время разрабатывался группами ученых из разных дисциплин, не взаимодействующих между собой	Британские антропологи, американские социологи
Современный период	С конца прошлого века по наст. время	Существование нескольких направлений сетевого анализа малых групп: структурный анализ (SNA), реляционная социология и акторно-сетевой подход	Социологи М.Гранноветер, Р. Бёрт, У.Пауэлл, Д.Старк, Б. Велман

Считается, что в научный оборот термин «социальная сеть» был введен в 1954 г. социологом Д. Барнсом в работе «Классы и собрания в норвежском островном приходе», вышедшей в сборнике «Человеческие отношения». Барнс развил подход к исследованию взаимосвязей между людьми с помощью социограмм, т.е. визуальных диаграмм, в которых отдельные лица представлены в виде точек, а связи между ними – в виде линий.

Одной из первых фундаментальных попыток теоретического осмысления трансформаций в глобальном сообществе в сетевых терминах можно назвать работу М. Кастельса «The rise of the network society» [38].

У истоков сетевого подхода в экономической социологии стояли американцы – М. Грановеттер, опубликовавший в середине 1970-х гг. несколько работ о сетевой организации рынка труда, например [134], а также его учитель Х. Уайт [201]. К середине 1990-х гг. данное направление заняло одно из ключевых мест в экономической социологии — в первую очередь благодаря работам Р. Бёрта, У. Пауэлла, Д. Старка.

Среди трактовок слова «сеть» (network) в американском словаре встречается следующая: «Сеть – это расширенная группа людей со схожими интересами, взаимодействующих друг с другом и поддерживающих неформальный контакт с целью взаимной поддержки и помощи».



Б. Велман [198] сформулировал 5 положений, которые обосновывают правомерность применения сетевого подхода при анализе социальных систем:

1. Поведение людей определяется не мотивами, принципами или демографическими характеристиками, а теми отношениями, в сеть которых они вовлечены. Эта сеть взаимоотношений предоставляет определенные возможности, в то же время, накладывая и ограничения на своих участников.
2. Внимание должно быть сосредоточено на взаимоотношениях между элементами сети, а не на самих элементах с присущими им характеристиками.
3. Аналитические методы не должны основываться на предположении о независимости элементов. Элементы сети рассматриваются в отношениях друг с другом, а не как отдельные категории.
4. Социальную систему нельзя рассматривать как простую совокупность диадических связей. Поток информации между двумя акторами и ресурсы, распределяемые между ними, зависят не только от их взаимных отношений, но и от их взаимоотношений со всеми остальными.
5. Границы групп, чаще всего, строго не определены (если группа не формальная). Строительными элементами любой организации (несмотря на существование формальной структуры) являются не отдельные изолированные группы, а перекрывающиеся сети, т.е. социальные системы рассматриваются как сети сетей, перекрывающиеся и взаимодействующие различными способами: «мир состоит из сетей, а не из групп» [198].

Экономическая социология предлагает следующее определение сети – «это совокупность акторов, занимающих определенные позиции, совокупность связей между ними, и совокупность ресурсов, циркулирующих между позициями акторов в рамках данной сети» [6].

Основные компоненты, описывающие сеть с точки зрения этой концепции, – структурный и ресурсный. Структурный компонент подразумевает определенную конфигурацию расположения акторов и предопределенные этой конфигурацией связи. Ресурсный компонент – это тип обмениваемых ресурсов, которые в итоге и приводят к дифференциации данных позиций [6].

Предполагается, что позиция в сети ограничивает, но не детерминирует жестким образом способы хозяйственного действия. С позиций экономической теории сеть – одна из форм, позволяющих экономить, например, на масштабах производства. Сетевая организация есть промежуточная форма между рынком и иерархией [92].

Ф. Фукуяма предлагает следующее определение сети: «Сеть – это группа индивидуальных агентов, которые разделяют неформальные нормы или ценности, помимо тех, которые необходимы для обычных рыночных операций» [92]. По этому определению сеть отличается от рынка тем, что ее участники разделяют определенные нормы и ценности. Из этого следует, что экономический обмен внутри сети будет осуществляться на ином основании, чем экономические взаимоотношения на рынке. В то же время, сеть отличается от иерархии тем, что она основана на разделяемых неформальных нормах, а не на формальных властных отношениях.

Под сетью коммуникаций понимается система, образованная однократными или повторяющимися коммуникационными процессами между агентами (социальными или экономическими), и имеющая сетевую структуру.

Многие исследователи считают, что сетевые экономические структуры являются само собой разумеющимся продолжением существующих социальных отношений. Например, Дж. Коулман называет их «апроприативными социальными организациями» [113], а М. Грановеттер – «структурно укорененными» [134], прямо заявляя, что в основе сетевых связей лежат межличностные отношения и сопряженные с ними обязательства. Экономические акторы в итоге воспроизводят в своих действиях уже привычные для них отношения.

В рамках любого вида обменов сетевые связи характеризуются следующими чертами: укорененностью, связностью, взаимностью.

«Укорененность отражает процесс, в ходе которого социальные отношения формируют экономическое действие» [90]. В случае сетей при обсуждении существующих связей речь идет о чем-то большем, нежели простая регулярность (повторяемость) обмена. Между участниками связей возникает специфическая

избирательность, вырастающая из общности каких-то признаваемых ими социальных признаков – сходства образования, общего места рождения, принадлежности к одной этнической группе, общего круга знакомых, которые могут дать рекомендации, и т. п.

Укоренные связи обладают тремя характеристиками: доверие, передача достоверной информации и наличие механизмов совместного решения проблем. Именно доверие выступает в качестве механизма управления укорененными отношениями.

В [80] приводятся следующие причины жизнеспособности сетевых структур:

1. постоянные сетевые связи позволяют участникам сетей обмениваться актуальной и полезной информацией;
2. осуществляется взаимоконтроль и оперативно разрешаются конфликтные ситуации;
3. длительное знание друг друга позволяет сформировать совместный социальный капитал, состоящий из взаимных обязательств, доверия друг к другу и деловых репутаций;
4. посредством сетей поддерживаются отношения конкуренции, и одновременно оказывается взаимная поддержка, направленная на стабилизацию рынка;
5. сети позволяют сформировать структурные представительства коллективных интересов

В статье [6] приводится еще один аргумент в пользу сетевых структур. Экономика всегда существует в условиях неопределенности. Сети уменьшают степень этой неопределенности.

«Формирование и развитие социального капитала невозможно без формирования и развития социальных сетей. Экспансия социального капитала из социологии в экономику привела к тому, что социальная сеть – социальная структура, состоящая из группы узлов, которыми являются социальные объекты – базовое социологическое понятие становится экономико-управленческим». [93].

#### 1.4.4 Проблема локальности в эпоху глобализации

Происходящие в мире процессы глобализации [169] настолько очевидны, что их никто не отрицает, но значит ли это, что локальные структуры потеряли свое значение и растворились, влившись в глобальный поток? Ответ на этот вопрос не так очевиден, и существует несколько взглядов на проблему определения понятия локальности, описания организации таких структур, но общее все же одно – признание существования и важности локальных структур.

Что представляют собой локальные структуры? В социологии введено понятие локального сообщества. Предлагается три основных подхода к его пониманию: структурный, культурный, промышленный [43]. Структурный подход базируется на трех основных общих компонентах: территории, экономических институтах и органах управления. Культурный, или ценностный, подход основан на качестве отношений внутри группы, на общей культуре и ценностных установках. Третий, промышленный, подход возникает в связи с развитием промышленного производства, средств коммуникации, когда связи между сообществами становятся более интенсивными, появляются отношения соседства. Как следствие этих подходов, формируется понятие локального сообщества как группы людей, объединенных на одной территории, разделяющих общую культуру, ценности, имеющих общие органы управления, связанных определенными экономическими отношениями.

Сходное определение локального сообщества дается и экономистами. В [62] сообщество определяется как «устойчивая группа лиц, объединенных четкими и понятными ценностями, ... ключевым отличием сообщества от простой группы лиц является и возможность вести некую производственную деятельность (создавать товары, услуги или информацию в чистом виде), результаты которой могут быть потреблены другими членами данного сообщества или внешними потребителями». Часто говорится и о возникновении «дополнительных» локальных экономик [62], которые функционируют наряду с общепризнанной экономикой, и о локальных рынках, действующих внутри глобального рынка [15].

Эти локальные экономики, или локальные экономические сообщества, М. Портер, называет кластерами и разрабатывает кластерную теорию. При исследовании локального в рамках процесса глобализации экономики он приходит к выводу о том, что «в экономической географии эры глобальной конкуренции присутствует парадокс» [176], вместо ожидаемого уменьшения значения локальных структур, их роль возрастает, но изменяются причины и основные черты этого явления. Локальность важна не столько в плане географической близости к различным ресурсам (природным, трудовым, капитала и т.д.), сколько в плане создания условий для образования таких структурных единиц как кластеры. Под кластером понимается «группа географически близко расположенных и взаимосвязанных компаний, а также ассоциированных с ними институтов из определенных областей деятельности, связанных общностью интересов и взаимно дополняющих друг друга» [177].

В своих работах [176, 177] М. Портер убедительно доказывает, что кластеры играют важную роль, представляя собой «критическую массу особого успеха в конкурентной борьбе в определенной бизнес-сфере», определяя саму кластерную теорию как «микроэкономически обусловленную теорию национальной, государственной и локальной конкуренции в условиях глобальной экономики». Портер утверждает, что именно кластеры должны стать основой новой экономики, т.к. имеют определенные преимущества перед изолированными компаниями или иерархиями компаний: они лучше соответствуют самой природе конкуренции, способствуют повышению производительности, быстрейшему распространению инноваций и формированию нового бизнеса. Именно эти структуры должны стать основным объектом внимания и финансирования.

Кластерная теория является ярким примером применения системного подхода, т.к. основана на концепции того, что система – это нечто большее, чем сумма ее составных частей: в теории одним из основных является тезис о том, что конкурентные преимущества определяются не только самими компаниями (компонентами системы), но и бизнес-средой, формируемой кластером.

Сходные идеи высказывают и сторонники такой концепции как «глокализация», основную идею которой можно выразить девизом римского клуба: «Мыслить глобально, действовать локально». Термин и его определение предложены английским социологом Р. Робертсоном в конце прошлого века. «Глокализация – это возрастание роли локальных местностей, городов, районов, повышение внимания к местной самобытности, - параллельное глобализации и направленное на ускорение мирового развития, гармонизацию общества. Главные участники глокализации – отдельные местности, районы, города, их всестороннее развитие, увеличение пропускной способности глокальных средств связи» [42].

### **1.4.5 Технологии моделирования**

При моделировании системы возможно создание статической и динамической модели этой системы. Как правило, с помощью статической модели изучаются структурные характеристики системы, а с помощью динамической модели – законы ее функционирования. Применительно к АС, с помощью динамической модели изучают то, что называют организацией АС, а с помощью статической модели – структуру АС.

Для анализа структуры социальных систем использована статическая модель на основе применения методологии анализа социальных сетей (SNA-методологии, SNA-Social Network Analysis). Эта методология вводит множество параметров, которые позволяют количественно оценивать и сравнивать как отдельные узлы сети, так и сети в целом, выделять отдельные сообщества в сетях. Разработаны методики, позволяющие находить особенности сетей, определяемые типом отношений, на которых построена сеть (например, метод сравнения со случайными графами, методы исключения отдельных пользователей из сети и т.д.).

Динамическая модель создана для анализа сети экономических коммуникаций, использована одна из парадигм имитационного моделирования [32]. Имитационную модель можно рассматривать как множество правил, которые определяют, в какое состояние система перейдет в будущем из заданного текущего состояния. Имитация здесь – это процесс «выполнения» модели, проводящий ее через (дискретные или непрерывные) изменения состояния во времени. В общем

случае, для сложных проблем, где время и динамика важны, имитационное моделирование представляет собой более мощное средство анализа [9].

Различают три основные парадигмы имитационного моделирования: системную динамику, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование.

Системная динамика – это парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. Системы представляются на высоком уровне абстракции как совокупности потоков, накопителей, вспомогательных переменных и субмоделей со своими элементами. Начало развития системной динамики было положено американским инженером Джеем Форрестером в 1950-х гг. Модель системной динамики чаще всего основана на системе дифференциальных уравнений, описывающих процессы реального мира [2]. По сути, такой вид моделирования более всех других парадигм помогает понять суть происходящего выявления причинно-следственных связей между объектами и явлениями.

Дискретно-событийное моделирование обязано своим рождением Дж. Гордону, который в начале 1960-х спроектировал и реализовал на IBM систему GPSS. Основной объект в этой системе – пассивный транзакт (заявка на обслуживание), который может определенным образом представлять собой работников, клиентов, покупателей, детали, сырье, документы, сигналы и т. п. «Перемещаясь» по модели, транзакты становятся в очереди к одноканальным и многоканальным устройствам, захватывают и освобождают эти устройства, расщепляются, уничтожаются и т. д. Дискретно-событийную модель можно рассматривать как глобальную схему обработки заявок, обычно со стохастическими элементами. Аналитические результаты для большого количества частных случаев таких моделей рассматриваются в теории массового обслуживания. Этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования производственных процессов.

Агент-ориентированное моделирование – это парадигма имитационного моделирования, которая направлена на создание систем, в которых действуют изолированные программные сущности, которые взаимодействуют между собой и существуют в некоторой среде. Определяя микропараметры системы, задавая характеристики агентов, программируя их поведение, возможно получить и проанализировать макропараметры этой системы. Агент-ориентированное моделирование определяют как «исходный базис и методологию для построения искусственных обществ» [53] и как «правильную математику для социальных наук» [109].

Если сравнивать парадигмы имитационного моделирования, то системная динамика оперирует в основном с непрерывными во времени процессами, в то время, как и дискретно-событийное моделирование – с дискретными. Если рассматривать уровень абстракции, то системная динамика работает на самом верхнем уровне, дискретно-событийное моделирование – на среднем и низком, и только агент-ориентированное моделирование может создавать модели любого уровня абстракции [10].

Для решения поставленных задач наиболее целесообразно использование агент-ориентированной технологии моделирования. Подробно причины этого выбора описаны во второй главе.

#### **1.4.6 Структурные характеристики сети**

SNA-методология, выбранная для структурного анализа сетей, в качестве одной из своих основ использует теорию графов.

При определении структурных характеристик учитывается множество его характеристик, к наиболее значимым относят: простой граф или мультиграф, ориентированный граф или нет, бинарный или его ребра имеют вес [124]. В данной работе рассматриваются простые ориентированные графы (направленные графы), ребра которых имеют веса.

Для исследования графов использованы такие их характеристики как [180]:  
– *маршрут* – в орграфе конечная или бесконечная последовательность ребер, такая, что каждые два соседних ребра имеют общую концевую точку;



- *цепь* – маршрут, каждое ребро которого встречается в нем не более одного раза;
- *путь* – цепь, в которой нет повторяющихся вершин.

Важным является понятие *геодезического пути* – кратчайшего пути между двумя вершинами в графе. *Геодезическим расстоянием* между двумя вершинами является длина геодезического пути, соединяющего эти вершины. Замкнутый путь (длиной больше 2) называется *циклом*. Маршруты, цепи и пути могут быть определены как для ориентированных, так и для неориентированных графов. Для ориентированных графов важно направление дуг.

Можно определить 4 типа связи между вершинами в ориентированном графе:

- 2 вершины слабо связаны: если между ними существует хотя бы один полупуть;
- 2 вершины связаны односторонне: если существует один из путей от  $n_i$  к  $n_j$  или от  $n_j$  к  $n_i$ ;
- 2 вершины сильно связаны: если существуют пути от  $n_i$  к  $n_j$  и от  $n_j$  к  $n_i$ , причем эти пути могут содержать различные дуги и вершины;
- 2 вершины рекурсивно связаны: если они сильно связаны и пути содержат одинаковые вершины и дуги (только дуги имеют разные направления в разных путях).

Различают 4 типа связности в орграфах:

- слабо связные: если все пары узлов в графе слабо связаны;
- односторонне связные: если все пары узлов в графе связаны односторонне;
- сильно связные: если все пары узлов в графе сильно связаны;
- рекурсивно связные: если все пары узлов в графе рекурсивно связаны.

По уровню (степени охвата узлов сети) структурные характеристики сети можно разделить на 3 основные группы:

- индивидуальные характеристики (определяют отдельный узел/актера);
- характеристики подсети/подгруппы (определяют диады, триады, эго-сети, сообщества);
- сетевые/групповые характеристики (определяют сеть в целом).

Некоторые характеристики могут быть вычислены как для сети в целом, так и для подсети (формулы вычисления различаются). Для сети и подсети можно

выделить типы характеристик: размерности, сплоченности, однородности, центральности, структурного баланса.

К характеристикам размерности следует отнести: размер сети, определяемый как количество узлов в сети ( $g$ ), количество связей в сети ( $L$ ) и диаметр сети ( $d$ ).

Диаметр не ориентированной сети ( $d$ ) – это длина самого большого геодезического расстояния в связной неориентированной сети.

Характеристики однородности сети определяются в отношении мер центральности для узлов сети. Это могут быть средние значения мер центральности ( $\bar{C}_A$ ) и соответствующие значения среднеквадратичного отклонения ( $S_A$ ). Используются также предложенные Л. Фриманом [131] индексы централизации, каждый из которых отражает вариативность индивидуальных индексов определенного типа центральности ( $C_A$ ).

К показателям сплоченности можно отнести коэффициенты взаимности ( $K_M$ ), кластеризации ( $K_C$ ), а для направленной сети – коэффициент транзитивности ( $K_{Tr}$ ).

Коэффициент кластеризации сети рассчитывается как среднее арифметическое коэффициентов кластеризации отдельных узлов. Коэффициент кластеризации отдельного узла есть плотность соседства данного узла, т.е. доля ближайших соседей данного узла, связанных между собой.

Коэффициент взаимности показывает долю диад, содержащих взаимные (симметричные) связи по отношению ко всем связным диадам.

В ориентированных сетях может быть рассчитан коэффициент транзитивности. Используют 2 способа расчета:

1. Количество транзитивных триад / количество всех триад;
2. Количество транзитивных триад / количество триад, в которых отсутствует третья связь (есть связи АВ, ВС, нет АС), т.е. триплетов.

Транзитивной считается триада, состоящая из узлов А, В, С, такая, что если есть связи АВ и ВС, то есть и связь АС.

## 1.5 Постановка задачи управления коммуникациями в системе, обладающей свойством аутопоэза

Согласно основным выше изложенным положениям теории управления постановка задачи управления сетями коммуникаций в системе, обладающей свойством аутопоэза, должна содержать описание: объекта управления, субъекта управления, целей управления, параметров и критериев управления.

Основываясь на положениях кибернетики второго порядка о невозможности игнорирования структуры системы, рассмотрим *объект управления* как систему  $S$ , которая имеет следующие характеристики:

- состоит из  $N$  агентов ( $Ag_i$ );
- агенты вступают в коммуникативные отношения друг с другом (коммуникации), образуя сеть процессов;
- структура сети коммуникаций определяется матрицей связей ( $W_{NxN}$ );
- каждый агент имеет набор характеристик ( $\vec{c}$  – вектор характеристик агента);
- система открытая, необходимо учесть взаимодействие с внешней средой ( $\vec{f}$  – вектор взаимодействия с внешней средой);
- система имеет цель  $Z_S$ .

В общем случае состояние системы в момент времени  $t$  можно определить следующим образом:

$$S(t) = \{\{Ag_i(\vec{c}(t))\}_{i=1}^N, W_{NxN}(t), \vec{f}(t), Z_S\} \quad (1.4)$$

Цель системы – поддержание своей жизнеспособности. Жизнеспособность экономической системы обеспечивается поддержанием свойства аутопоэза (самовоспроизводства системы) и, согласно теории эволюционной экономики [50], – приспособляемостью к внешней среде, которая выражается в стремлении к эффективному функционированию.

Для экономической системы можно выделить следующие особенности:

- экономические агенты имеют определенные стратегии поведения; стратегия определяет порядок и правила взаимодействия агента с контрагентами; стратегия

принадлежит конечному множеству возможных поведений, мощность множества стратегий  $S$  ( $STR = \{str_j\}_{j=1}^S$ ).

- экономические агенты имеют производственные характеристики: объем выпуска, вектор потребностей в ресурсах, свободный остаток и финансовые средства (ресурсы) на счету;
- матрица связей агентов представлена матрицей взаимных платежей;
- взаимодействие с внешней средой реализовано через ввод в систему агентов типа Внешняя среда (агентов внешней среды) и отражено в матрице связей (взаимных платежей).

Для систем экономических коммуникаций характерен материальный обмен: один из агентов (производитель) передает товар и получает финансовые средства за этот товар от контрагента. В системе введен еще один ресурс – финансовый – в виде финансовых средств, размещенных на счетах агентов (у  $i$ -го агента на счету находится  $m_i$  у.е.), в целом в системе объем финансовых ресурсов –  $M = \sum_{i=1}^N m_i$  (у.е.).

Каждый экономический агент  $Ag_i$  производит уникальный продукт в объеме  $x_i$ , для этого он потребляет продукты, произведенные другими агентами в объеме, определяемом вектором потребностей в ресурсах (соответствующий агенту столбец матрицы связей)  $\vec{w}_i = [w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ii}, \dots, w_{Ni}]$ , оставляя для непроизводственного потребления остаток в объеме  $y_i$ .

Вектор характеристик  $i$ -го экономического агента в произвольный момент времени ( $t$ ) определяется как:

$$\vec{c}_i(t) = \langle str_j, x_i(t), y_i(t), \vec{w}_i(t), m_i(t) \rangle \quad (1.5)$$

Состояние экономической системы в целом, основываясь на (2) и учитывая (3):

$$s(t) = \left\langle \left\{ Ag_i \left( str_j, x_i(t), y_i(t), \vec{w}_i(t), m_i(t) \right) \right\}_{i=1}^N, W_{NxN}(t), \vec{f}(t), Z_S \right\rangle \quad (1.6)$$

В соответствии с гипотезой «эффективного рынка» каждый агент обладает полной и достоверной информацией о состояниях других агентов, поэтому нет дополнительных параметров, определяющих информированность агента.

Если рассматривать макропараметры системы, то ее состояние в момент времени  $t$  определяется через: вектор-константу стратегий агентов в системе  $\overrightarrow{STR} = [str_1, str_2, \dots, str_N]$ , вектор объемов выпуска агентов ( $\vec{X}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]$ ), вектор свободных остатков ( $\vec{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_N(t)]$ ), матрицу связей ( $W = [\vec{w}_1(t), \vec{w}_2(t), \dots, \vec{w}_l(t), \dots, \vec{w}_N(t)]$  объем финансовых средств, зачисленных на счета агентов, ( $\vec{M} = [m_1, m_2, \dots, m_N]$ ), и может быть записано в виде:

$$s(t) = \langle \overrightarrow{STR}, \vec{X}(t), \vec{Y}(t), W_{N \times N}(t), \vec{M}(t), \vec{f}(t), Z_S \rangle, \quad (1.7)$$

На основании матрицы связей может быть получена нормированная матрица  $A$  (нормирование производится на единицу продукции агентов).

В любой АС функционирование агентов происходит в условиях баланса, который в экономической системе соответствует межотраслевому балансу Леонтьева:

$$\vec{X}(t_0) - A\vec{X}(t_0) = \vec{Y}(t_0) \quad (1.8)$$

Для социальной системы можно выделить следующие особенности:

- матрица связей ( $W_{N \times N}$ ) есть оргматрица;
- характеристики агентов – структурные показатели узлов сети, образованной коммуникациями этих агентов (показатели центральности).

Как было определено, цель системы – поддержание своей жизнеспособности. В социальной системе этому способствует ее структурная сбалансированность, т.е. соответствие теориям и моделям структурного баланса.

В общем случае при управлении системой вектор состояния системы ( $\vec{s}(t)$ ) есть функция от вектора управления ( $\vec{u}(t)$ ), вектора воздействий внешней среды ( $\vec{f}(t)$ ) и от состояния системы ( $\vec{s}(t_0)$ ) в начальный момент времени. Если состояние системы зависит от истории ее существования (предыдущих состояний), то система является не тривиальной машиной, и управление ей должно осуществляться в соответствии с концепциями кибернетики второго порядка.

Состояние системы в зависимости от управляющих воздействий в момент времени  $t$  может быть записано следующим образом:

$$\vec{s}(t) = F(\vec{u}(t), \vec{f}(t), \vec{s}(t_0)) \quad (1.9)$$

Задача управления состоит в том, чтобы подобрать параметры управления и их значения, позволяющие оптимизировать коммуникационный процесс в системе, при одновременном поддержании свойства аутопоэза.

Управление, направленное на повышение эффективности функционирования экономической системы, заключается в оптимизации коммуникационного процесса, уменьшении времени его протекания и повышении его прогнозируемости (минимизация разброса финансовых характеристик); для социальной системы – в повышении коммуникационной эффективности сети.

Критериями управления являются:

- для экономической системы: длительность коммуникационного процесса ( $T_c$ ) – время от начала коммуникаций до момента полного обеспечения всех агентов необходимыми ресурсами, или, если система не сбалансирована, момента не возможности дальнейших коммуникаций; для социальной системы – значение показателя коммуникационной эффективности сети ( $E_c$ );
- для экономической системы вариативность коммуникационного процесса, измеряемая как стандартное отклонение ( $S$ ) финансового оборота; для социальной системы показатели однородности и централизации:  $S_A$  – стандартное отклонение, характеризующее степень разброса показателей центральности, агентов сети;
- условия соблюдения производственного баланса в системе; условия поддержания структурного баланса ( $SB$  – structural balance) в социальной системе.

Цель управления ( $Z$ ) может быть записана в виде:

- для экономической сети:
  - $Z \rightarrow (\min T_c \mid \min K) \& (\min S) \& (\vec{X}(t_0) - A \cdot \vec{X}(t_0) = \vec{Y}(t_0)) \quad (1.10)$

- для социальной сети:
  - $Z_u \rightarrow (\max E_c) \& (\min S_A) \& (SB) \quad (1.11)$

Графическое представление постановки задачи управления приведено на Рисунке 1.5.

Параметрами управления являются:

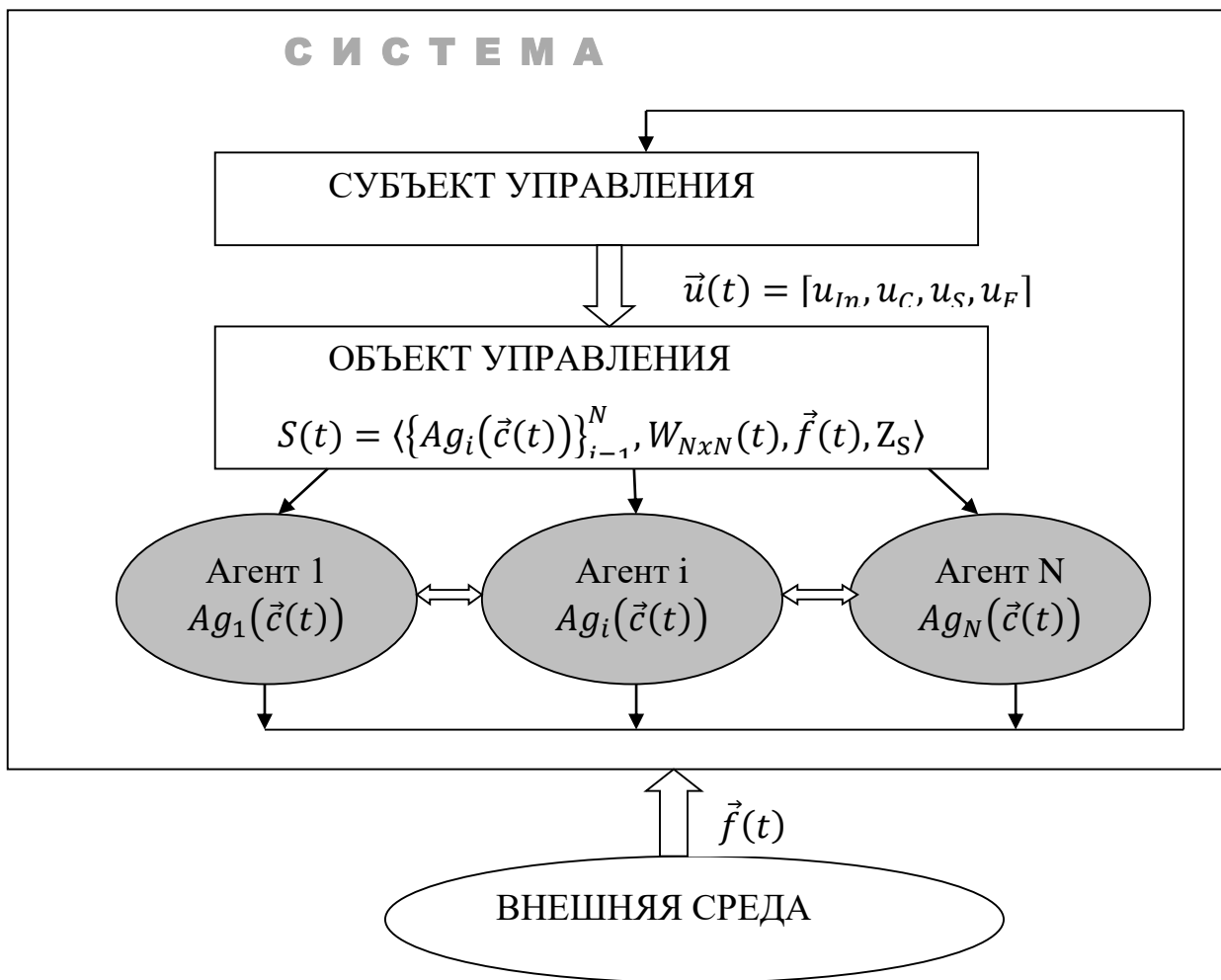


Рисунок 1.5 – Графическое представление постановки задачи управления

- множество возможных стратегий поведения (обмена) агентов (STR);
- объем финансовых средств в системе (M);
- структурные характеристики системы:
  - показатели сбалансированности (соответствие различным моделям структурного баланса);
  - показатели сплоченности (коэффициент взаимности ( $K_M$ ), коэффициент кластеризации ( $K_C$ ), коэффициент транзитивности ( $K_{Tr}$ )), диаметр сети (D);
  - показатели однородности (основанные на показателях центральности ( $C_A$ ): средние значения показателей центральности ( $\bar{C}_A$ ),

среднеквадратичные отклонения показателей центральности ( $S_A$ ), показатели централизации по Фриману).

Задача управления состоит в том, чтобы подобрать параметры управления и их значения, позволяющие оптимизировать коммуникационный процесс в системе при одновременном поддержании свойства аутопоэза

Вектор управления ( $\vec{u}_T(t)$ ) в общем случае включает следующие компоненты: институциональное управление ( $u_{In}$ ), управление составом ( $u_C$ ), управление структурой ( $u_S$ ), мотивационное управление ( $u_M$ ), информационное управление ( $u_I$ ), управление порядком функционирования ( $u_F$ ):

$$\vec{u}_T(t) = [u_{In}, u_C, u_S, u_M, u_I, u_F] \quad (1.12)$$

В диссертационной работе ненулевыми компонентами вектора управления являются:

- институциональное управление ( $U_{In}$ ) – управление объемом финансовых средств в системе (M);
- управление составом ( $u_C$ ) – управление количеством и типами агентов, действующих в системе;
- управление структурой ( $u_S$ ) – управление связями между агентами (изменение матрицы связей W), оценка структурных характеристик сети коммуникаций;
- управление функционированием ( $u_F$ ) – возможность изменения экономического поведения агентов (управление стратегиями обмена – множеством STR).

Таким образом, вектор управления в настоящей работе имеет вид:

$$\vec{u}(t) = [u_{In}, u_C, u_S, u_F] \quad (1.13)$$

Критерии эффективности функционирования экономической системы могут быть представлены следующим образом:

$$E_T = \frac{\min T_c}{T_c} \cdot 100\% \quad (1.14)$$

$$E_S = \frac{\max S_{KB} - \text{текущее } S_{KB}}{\max S_{KB}} \cdot 100\%, \quad (1.15)$$



Эти два критерия характеризуют удаленность от оптимального значения и степень предсказуемости (вариативности) поведения системы.

Для социальной системы важным критерием функционирования является показатель коммуникационной эффективности сети:

$$E_c = \frac{1}{g(g-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d(n_i, n_j)} \cdot 100\% \quad (1.16)$$

Дополнительным критерием эффективности следует рассматривать долю коммуникаций, формирующих аутопоэтический паттерн сети: в экономической системе ( $E_B^E$ ) – это число различных коммуникативных связей, входящих в циклические контуры, нормированных на общее число связей в сети ( $L$ ), а в социальной системе – это число разрешенных в моделях структурного баланса триад ( $E_B^S$ ) к общему числу обнаруженных триад. Критерий

$$E_B^E = \frac{\text{число коммун. в циклических контурах}}{L} \cdot 100\% \quad (1.17)$$

$$E_B^S = \frac{\text{число разрешенных триад}}{\text{число найденных триад}} \cdot 100\% \quad (1.18)$$

В то же время наличие нескольких вариантов решений в организации управления ставит вопрос о сопоставлении результатов с затратами. В такой интерпретации эффективность управления все чаще отождествляется с экономичностью: полезный результат сравнивается с затратами деятельности.

В данной работе такой подход достаточно сложно применить, т.к. невозможно определить конкретные цифры затрат на управление и оценить в стоимостном выражении полученный эффект.

## 1.6 Выводы по первой главе

1. Положение дел в экономической и большинстве социальных наук характеризуется как кризис мейнстрима. До настоящего времени в экономической и социальных науках преобладало использование математических методов, поддерживающих положения кибернетики первого порядка. В связи с тем, что социальные и экономические системы – это не тривиальные системы, следует обратиться к кибернетике второго или более высоких порядков.

2. В кибернетике второго порядка особое положение занимает теория аутопоэза, описывающая требования к системе и условия, при которых она самовоспроизводится, устойчиво существуя во времени и среде.

3. В данной работе эта теория принята основным теоретическим основанием для исследования систем экономических и социальных коммуникаций. Это позволило более точно определить объект исследования как сеть коммуникаций.

4. Аутопоэтическая система представляет собой сеть процессов. Сеть есть структура промежуточная между иерархией и рынком. Рассмотрены основные черты сетей: укорененность, связность и взаимность. Рассмотрение структуры АС как сети позволяет применить для ее анализа методологию анализа социальных сетей.

5. В работе рассматриваются локальные системы, т.к. несмотря на происходящие процессы глобализации, локальные экономические системы не потеряли своей значимости. Все чаще говорится об эффекте «глокализации», который заключается в повышении роли локальных экономических сообществ.

6. Коммуникация рассмотрена как процесс, протекающий во многих областях, и имеющий определенную структуру и специфические черты. Рассмотрены основные модели (модель Лассвелла, Шеннона-Уивера), созданные для описания этого процесса, выявлены их достоинства и «узкие места».

7. Поставлена задача управления сетями коммуникаций в терминах кибернетики второго порядка. Объектом управления является производственная система, представленная как сеть агентов, связанных коммуникационными отношениями; целью управления является оптимизация коммуникационного процесса с одновременным поддержанием свойства аутопоэза. Определены параметры и критерии управления.

8. Для решения поставленных задач выбраны: агент-ориентированная технология имитационного моделирования – для рассмотрения экономического аспекта задачи управления и SNA- методология – для рассмотрения социального аспекта. Агент-ориентированная технология позволяет создавать динамические

модели, тем самым решать ресурсную задачу в сети, а SNA- методология дает основание для проведения структурного анализа сети.

## **2 СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СЕТЕЙ И АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

### **2.1 Основы структурного анализа сети коммуникаций**

#### **2.1.1 Типы коммуникаций в исследованиях и информационная база исследования**

В любой производственной системе существуют социальные и экономические отношения, можно построить сеть социальных коммуникаций (отражающих отношения дружбы, неприязни, и т.д.) и сеть экономических коммуникаций, обусловленных технологией рабочего процесса и структурой организации.

Эти сети взаимосвязаны и оказывают взаимное влияние: экономические коммуникации приводят к появлению устойчивых социальных связей, а устойчивые социальные связи приводят к появлению «укорененных» (embedded) экономических связей, которые детально описаны в [90]. Существуют понятие социального капитала (социальные связи становятся ресурсами для получения экономической выгоды) [113] и явление экономического империализма (когда экономисты со своими методами исследования вторгаются в области социальных наук) [21].

В то же время, сети этих коммуникаций имеют и различие: хотя и в тех и других сетях происходит передача некоторой субстанции, но в социальных сетях – это нечто не материальное (смыслы), а в экономических сетях происходит движение продукции (чаще материальной) в одном направлении, и движение эквивалентных финансовых средств в обратном направлении.

В диссертационной работе проанализированы оба типа сетей, социальные и экономические, выявлены структурные сходства и различия этих двух типов сетей.

Достаточно сложно разделить экономическую и социальную составляющую внутри одной производственной системы, поэтому было решено получить сети обоих типов, используя для этого различные, как социологические, так и

экономические методы. Список исследуемых сетей представлен в Таблице 2.1, а технологии их получения описаны в следующих подразделах этой главы.

Таблица 2.1– Состав информационной базы исследований

Тип сети	Источник	Характеристика данных	Название	Размер
Социальная	Информационная система	Академическая группа (4 курс)	34 группа (34_гр)	13
			35 группа(35_гр)	17
			44 группа(44_гр)	17
			45 группа(45_гр)	30
	Анкетирование	Академическая группа (1 курс)	201 группа(201гр)	10
			202 группа(202гр)	14
Экономическая	Реальные (статистика)	Муниципальные	Муниципальная (Мун)	12
	Проектирование	Малый бизнес	Проект (проект)	8
	Деловая игра	Сеть кооперативного сообщества	Екатеринбург (И_Ек)	13
			Москва (И_М)	17
			Уфа(И_У)	10
			Уфа 2(И_У2)	11
	Расчетные	$\forall i = 1..20, \forall j = 1..20, a_{ij} = 0,0385, x_i = 500, y_i = 115$	Равномерные	20
		$\forall i = 1..20, \forall k = 1..20, x_i = 500, y_i = 115$ $\sum_{i=1}^{20} a_{ki} = \sum_{i=1}^{20} a_{ik} = 0,77$	Одинаковые суммы	20
		$\forall i = 1..20, x_i = 500, y_i = 115$ $\begin{cases} \forall k = 1..20: \sum_{i=1}^{20} a_{ki} = \sum_{i=1}^{20} a_{ik} = 0,77 \\ \forall m = 1..20, \forall n = 1..20, a_{mn} = a_{nm} \end{cases}$	Бартер	20

### 2.1.2 Методы получения информации, их достоинства и недостатки

Методы сбора данных, с помощью которых обычно организуется процесс получения научной информации, следующие [175]:

- анализ документов;
- наблюдение;
- опрос (анкетирование, интервьюирование, экспертный опрос, социометрический опрос).

Наиболее часто используется опросный метод [61]. Достоинства и недостатки опросного метода представлены в Таблице 2.2 .

Таблица 2.2 – Достоинства и недостатки опросного метода

№	Достоинства	Недостатки
1	Возможность получения информации непосредственно от участников события	Сбор информации вне «естественной» ситуации (Парадокс Лапьера – люди не всегда делают то, что говорят)
2	Получение информации по широкому спектру тем (практически неограниченному)	Любая информация, получаемая в ходе опроса, не лишена субъективизма
3	Любое количество респондентов	Провоцирует на высказывание ответа, даже если респондент не компетентен в том или ином аспекте

В данной работе кроме традиционного опросного метода был использован метод сбора данных через информационную систему.

### **2.1.3 Методика сбора информации о коммуникациях с использованием информационной системы**

Метод использования информационной системы для фиксации коммуникаций делает попытку преодолеть недостатки, присущие опросному методу.

Для накопления данных была использована система всеобщего управления качеством «КОМПАС TQM», созданная и внедренная в одном из департаментов ФГАОУ ВО УрФУ.

Данная система построена на принципах, разработанных Водяновым В.Г.

В 1982 году В.Г. Водянов внедрил на строительстве Калининской АЭС систему «Компас». Он предложил использовать, так называемую, «бизнес-гармонь», паспорт каждого работника, куда он записывает, что он и для кого делает, а также – кто и что делает по его заказам: в одной графе – заказчики, в другой – подрядчики. При этом каждый может поставить оценку своим подрядчикам. Например, строитель в своем паспорте выставляет оценки всем, кто обеспечивает ему процесс: тем, кто дает бетон, налаживает технику, роет траншеи, трубы кладет, стряпает пищу. Соответственно, получают оценки и поставщики управленческих услуг – бригадиры и начальники. И точно так же деятельность строителя оценят все, кто с ним связан. Начисленные плюсы и минусы выводятся

на общий рейтинг-экран, где есть все – от самых главных управляющих до рядовых сотрудников [36].

Подобные принципы оценивания легли в основу, созданной в УрФУ, информационной системы «КОМПАС TQM», которую можно считать системой всеобщего контроля качества (TQM – Total Quality Management).

В этой системе был накоплен значительный объем данных, содержащих результаты оценивания студентами коммуникаций друг с другом.

При работе с системой предполагается обязательное регулярное оценивание студентами результатов взаимодействия с другими студентами, преподавателями, представителями служб университета, и любыми другими людьми (или организациями). Оценка выражается в баллах, и может быть, как положительной, так и отрицательной (положительный или отрицательный выбор). Каждая оценка обязательно сопровождается словесным комментарием. Оценки, выставленные друг другу участниками системы, отражают реальные коммуникации между ними и подтверждаются текстами комментариев. Знак оценки («+» или «-») характеризует общее отношение «реципиента» к результату данной коммуникации, а ее численное значение (от 1 до 5 баллов) определяет силу данного отношения (например, степень полезности полученной информации или услуги).

Данные накоплены за год: в течение двух семестров 2013-2014 учебного года студенты, предварительно зарегистрировавшись в системе, вносили оценки в систему.

Образовано две базы данных: база осеннего и весеннего семестров 2013-2014 учебного года. Первая база содержит 4846 оценочных записей, вторая – 4769. Если подсчитать только оценки коммуникаций студентов друг с другом, то в осенней БД содержится 2805 оценок, а в весенней – 3394.

В Таблице 2.3 приведены количественные характеристики, оценивающие объем собранных данных.

Таблица 2.3 – Характеристики данных, собранных во время исследования

№ п/ п	Группа	Осенний семестр			Весенний семестр		
		Кол-во студент ов зарегист р. в системе	Кол- во оцен ок	Среднее кол-во оценок на 1 студ.	Кол-во студентов, зарегистр. в системе	Кол-во оценок	Среднее кол-во оценок на 1 студ.
1	ЭМ-133103	2	6	3	14	649	46,36
2	ЭМ-133105	0	0	-	16	947	59,19
3	ЭМ-133106	0	0	-	27	694	25,7
4	ЭМ-221603	10	15	1,5	8	40	5
5	ЭМ-221606	24	199	8,29	29	27	0,93
6	ЭМ-311604	1	11	11	1	11	11
7	ЭМ-401601	10	511	51,1	10	13	1,3
8	ЭМ-401602	13	733	56,38	13	84	6,46
9	ЭМ-401604	17	1107	65,12	17	23	1,35

Из Табл. 2.3 очевидно, что наиболее активными в осеннем семестре были группы ЭМ-133103 и ЭМ-133105 (1 и вторая строки), а в осеннем семестре группы 4 курса – ЭМ-401602 и ЭМ-401604. Данные этих групп стали основой для формирования сетей, названных условно (коды соответствующей БД) «34 группа», «35 группа», «44 группа» и «45 группа».

Применение данного метода сбора данных имеет неоспоримые преимущества по сравнению с опросным методом: данная технология позволяет получить более объективные данные, т.к. содержит не однократный ответ, который может зависеть от текущего состояния (настроения) респондента, а накопленную оценку. Между коммуникацией и вводом оценки существует определенный временной интервал, что тоже позволяет более объективно оценить ситуацию. Нет принуждения к ответу в конкретный момент времени, т.е. маловероятно, что в системе возникнет оценка события, о котором респонденту ничего не известно.

#### 2.1.4 Методы построения экономических сетей

Рассматриваемые локальные экономические сети – это сети двух типов: производственные сети и сети сообществ. Они формируются как результат двух различных типов кооперации: кооперации в производственном кластере и кооперации в некотором сообществе.



Данные о структуре производственной сети и ее функционировании могут быть получены из выписок с банковских счетов агентов (участников). Выписка с банковского счета содержит всю информацию, необходимую для создания матрицы коммуникаций: сумму, получателя/плательщика и дату совершения сделки. Можно исследовать сделки за день или суммировать их за определенные периоды времени. Матрица коммуникаций, содержащая информацию о датах сделок, позволит изучать эволюцию структуры сетей. Однако выписка со счета агента является коммерческой тайной, поэтому практически невозможно получить реальную информацию об агентах сети.

Существуют два основных источника получения информации о коммуникациях в сети сообщества. Один из них – такой же, как и для производственной сети, и основные трудности – те же. Если же сообщество использует так называемую «дополнительную», или внутреннюю, валюту [49] для платежей, которая к тому же является электронной, то все записи о транзакциях сохраняются в локальной платежной системе. Матрицу коммуникаций можно легко экспортировать (с разрешения оператора) и использовать для дальнейшего анализа. К сожалению, разрешение оператора также является большой проблемой. К тому же, в России кооперативные сообщества не имеют своих локальных платежных систем.

Для решения данной проблемы было решено использовать методы экспериментальной экономики [116]. Было проведено две серии экспериментов, в результате которых были созданы пять различных предпринимательских сетей: три сети кооперативных сообществ и две производственные сети.

Для улучшения репрезентативности эксперименты по формированию сетей кооперативных сообществ были проведены в различных регионах страны: в Уфе (Республика Башкортостан), в Екатеринбурге и в Москве. Каждый эксперимент длился в течение двух часов: первый час отводился на ознакомление участников с правилами и инструкциями по проведению предстоящего эксперимента, второй час был посвящен непосредственно организации взаимодействия участников друг с другом и непосредственно формированию сети. Участниками экспериментов были

местные предприниматели. Одним из основных требований эксперимента был обмен реальными товарами и услугами, которые производят сами участниками. Обмены мотивировались тем, что была введена отрицательная процентная ставка [133] на финансы, обращающиеся в эксперименте, которая через определенный промежуток времени уменьшала объем финансовых средств в системе.

Производственные кооперативные сети создавались двумя различными способами. Первая производственная сеть была получена на основе модели городского хозяйства. На основе усредненных статистических данных в расчете на 10 000 жителей была построена модель внутреннего рынка муниципальной экономики [33]. Виды производств и объемы потребления их продукции и услуг местным населением были определены на основании анализа потребительской корзины. Вторая сеть была спроектирована группой студентов-экономистов (Высшая школа экономики и менеджмента Уральского федерального университета, г. Екатеринбург) при выполнении проекта по разработке комплекса предприятий малого бизнеса, которые смогут обеспечить полный жизненный цикл (в течение двух недель) летнего туристического лагеря с образовательными и развлекательными программами. Спроектированные предприятия должны обеспечить строительство, аренду и снабжение, организацию питания, охрану, утилизацию мусора и другие жизненно необходимые услуги. Лагерь должен быть рассчитан на проживание 120 человек (работников и клиентов). Два дня до начала работы лагеря и два дня после ее окончания были предназначены для монтажа/демонтажа всех необходимых конструкций. Сбалансированная матрица взаимных платежей сетевых агентов с данными, агрегированными за 14 дней, стала второй из матриц производственной сети для изучения.

Обе производственные сети содержат население как специального агента сети, который потребляет продукцию других агентов и обеспечивает их необходимыми трудовыми ресурсами.

### **2.1.5 Понятие малой группы и современные направления исследования малых групп**

Социальные сети, анализ которых производился, – это сети малых групп.

Существует множество определений малой группы, приведем некоторые из них:

- из психологического словаря: «Малая группа – относительно немногочисленная общность людей, находящихся между собой в непосредственном личном общении и взаимодействии» [76].
- Б.Д. Парыгин определяет группу как немногочисленную общность людей, которые находятся друг с другом в самом непосредственном (лицом к лицу) психологическом контакте [75].

Ключевые признаки малой группы – ее немногочисленность и контактность.

Одной из характеристик малой группы является ее численность. Существуют различные мнения по поводу оценок как нижней, так и верхней границы этой характеристики. Нижняя граница обычно определяется в 2 человека, т.е. минимальная группа – диада, некоторые исследователи считают, что только группу из 3 человек (триаду) можно считать социальной группой.

Если рассматривать оценку верхней границы численности малой группы, то здесь также существуют разные мнения, это может быть 10, 15, 20 человек. В некоторых исследованиях Морено, автора социометрической методики, рассчитанной на применение в малых группах, упоминаются группы по 30-40 человек, когда речь идет о школьных классах или академических группах.

Одной из наиболее часто используемых методик, применяемых для исследования малых групп до недавнего времени являлась социометрическая методика. Именно эта методика стала одной из составных частей SNA-методологии, которая использовалась для структурного анализа сетей в данной работе.

Социометрия – это метод эмпирического исследования, позволяющий дать количественную оценку межличностных отношений (неприязнь, симпатию, нейтральные отношения – безразличие) и эмоциональные взаимооценки внутри малых социальных групп [11]. Социометрическое направление в изучении малых групп связано с именем Дж. Морено.

Основными артефактами, присущими этому подходу являются следующие [57]:

- *Социометрическая карточка* (опросный лист, анкета) – методический инструмент для сбора информации при социометрическом опросе.
- *Социоматрица* – таблица, с помощью которой анализируются результаты социометрического опроса. Социоматрица представляет собой квадратную таблицу, состоящую в общем случае из нулей и единиц (бинарная матрица). На пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца стоит единица, если  $i$ -й член группы выбирает  $j$ -го в опросе, и ноль – в противном случае. Строка определяет активные выборы, а столбец показывает, кого выбирают. Если возможен отрицательный выбор, то в социоматрице появляются элементы, равные «-1». Если разрешено указывать несколько выборов, выставляя определенные оценки (параметрический опрос), то элементами матрицы могут быть целые числа. В теории графов такая матрица называется матрицей смежности.
- *Социограмма* – графическое изображение связей внутри группы, устанавливаемых на основе социометрического опроса.

В исследованиях малых групп Е. Катц [148] выделяет 2 периода: ранний (early era) и современный (current era) Ранний период относят к 1950-60годам. Этот период характеризуется различными экспериментальными исследованиями, в частности проводившимися Лабораторией групповых сетей (Group Networks Laboratory) Массачусетского Технологического Института (MIT). Бавелатт и Леовит и их коллеги из MIT проводили эксперименты по изучению паттернов коммуникаций, изучая, кто и кому посылал различные сообщения. Основной вопрос, которым они занимались, это какую сеть можно считать оптимальной для функционирования группы.

Современный этап начинается с конца 90 годов прошлого века. Можно предполагать, что это вызвано развитием методов и техник сетевого анализа, которое произошло, в том числе, благодаря развитию компьютерной техники.

Основой современного анализа малых групп является сетевой подход. В [55] выделяется 3 основных направления: структурный анализ (SNA), реляционная социология и акторно-сетевой подход.

В фокусе рассмотрения реляционной социологии оказываются не только структурные, но и культурные компоненты. Акторно-сетевая теория («actor-network theory», или ANT) – это подход, который является одним из самых известных и спорных в социальной теории. Его сторонники требуют рассматривать «не-людей» (nonhumans) в качестве действующих агентов в социальных системах и отношениях). Основателями и яркими фигурами этого направления являются европейские социологи Б. Латур, М. Каллон и Дж. Ло.

В данной диссертационной работе использована SNA-методология как наиболее разработанная и доказавшая во множестве исследований свою результативность.

#### **2.1.6 Основные нотации. Классы показателей в SNA-методологии**

В SNA- методологии сочетаются три основные нотации:

- социометрическая, информационной основой которой является социоматрица (чаще называемая в этой методологии оргматрицей), обычно обозначаемая –  $X_{gxg}$ , в данной постановке задачи обозначена как  $W_{N \times N}$ ;
- алгебраическая, определяющая, что существует отношение (F), образующее упорядоченные пары ( $n_i \rightarrow n_j$ );
- графическая, ассоциирующая акторов с вершинами графа (множество V), а существующие отношения между акторами - с ребрами графа (множество E), множества графов  $G=(V, E)$  [151].

Все нотации эквивалентны. Л. Фриман представлял социальную сеть в виде тройки следующих элементов: алгебраической структуры S, направленного графа  $G_d$  (социограммы) и социоматрицы (X), записывая это в следующем виде [130]:

$$N=<S, G_d, X>, \quad (2.1)$$

Все структурные показатели можно разделить на 3 основные класса:

- индивидуальные показатели (уровень узла/актора);

- показатели подсети/подгруппы (уровень подграфа: диады, триады, эго-сети, сообщества);
- сетевые/групповые показатели (уровень графа в целом).

## **2.2 Методика структурного анализа сетей коммуникаций**

### **2.2.1 Индивидуальные показатели акторов (агентов)**

Одной из основных задач в анализе социальных сетей является задача определения самых важных (центральных) акторов в сети. Важность понимается по-разному, она определяется структурной позицией актора, обычно такие акторы занимают некие стратегические позиции.

Для оценки важности актора в сети введены различные меры центральности. Основные меры центральности – это центральность по степени, центральность по близости и центральность по посредничеству [108]. Показатели этих мер бывают абсолютные и нормированные. Нормированные показатели не зависят от размера сети, поэтому их можно использовать для сравнения различных сетей между собой (нормированные величины обозначены со штрихом).

Наиболее очевидные показатели центральности – это показатели центральности по степени. Показатель центральности по степени определяется как количество ребер, инцидентных данной вершине (или узлов, смежных с данным узлом). Для не ориентированных сетей этот показатель отражает известность актора в сети. Для ориентированных сетей по-разному интерпретируют показатели входной и выходной центральности. В [128] акторы, имеющие высокую центральность по степени, определяются как центр сети, место «сосредоточения всей сетевой активности», Те акторы, которые имеют невысокие показатели центральности, считаются «периферией сети».

В некоторых российских источниках меры центральности по степени называются просто степенями, для ориентированных сетей вводятся понятия полустепени захода и полустепени исхода [8]. Это еще раз свидетельствует об отсутствии общей русскоязычной терминологии

Оргматрица (социоматрица) (X), соответствующая не ориентированному графу, является симметричной относительно главной диагонали (i-ый столбец и i-ая строка матрицы равны). Нормированный показатель получают путем деления на максимально возможное количество связей узла, которое в случае g узлов в сети, равно (g-1). Нормированный показатель центральности по степени i-го узла в неориентированной сети равен:

$$C_d(n_i) = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ji}}{g-1} = \frac{\sum_{i=1}^g x_{ji}}{g-1}, \quad (2.2)$$

Это же выражение определяет плотность эго-сети актора.

Для ориентированных сетей различают входную центральность по степени (число дуг, входящих в некоторую вершину) и выходную центральность по степени (число дуг, выходящих из некоторой вершины). Они не равны, т.к. i-ый столбец и i-ая строка соответствующей социоматрицы, как правило, различны. Обычно считается, что входная центральность по степени отражает «престижность» актора, а выходная – «экспансивность».

Нормированный показатель входной центральности по степени:

$$C_d(n_{+i}) = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ji}}{g-1}, \quad (2.3)$$

Нормированный показатель выходной центральности по степени:

$$C_d(n_{i+}) = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ij}}{g-1}, \quad (2.4)$$

Предлагаются разные классификации узлов по значению их центральности по степени. Одна из них предложена Харари [139]:

- изолянт: входная и выходная центральность по степени равны 0;
- передатчик: входная центральность по степени равна 0, выходная центральность больше 0;
- приемник: выходная центральность по степени равна 0, входная – больше 0;
- узел – несущая: входная и выходная центральности равны 1;
- остальные узлы считаются обычными.

Классификация, часто используемая в социометрическом анализе:

- «звезды» – получившие наибольшее количество выборов в группе;

- предпочитаемые – получившие среднее число выборов;
- пренебрегаемые – получившие больше отрицательных, чем положительных выборов;
- изолированные – не получившие ни одного выбора;
- отвергаемые – получившие только отрицательные выборы (при наличии отрицательных выборов).

Если все вершины графа имеют одинаковую центральность по степени, граф называется регулярным. Если эта степень равна  $k$ , то граф является  $k$ -регулярным.

Следующая группа показателей центральности – это показатели центральности по близости. Центральность по близости определяет, насколько данный узел близок ко всем остальным узлам в сети. Если актер близок к остальным в сети, он может быстро вступить с ними во взаимодействие, т.е. эффективен в коммуникациях. Рассчитывается как величина, обратная сумме геодезических расстояний (длин кратчайших путей) от данной вершины до всех остальных вершин в сети. Этот показатель может быть рассчитан только для связной сети, и это относится к существенным недостатком этой меры, т.к. она применима не ко всем графам. Если  $d(n_i, n_j)$  – геодезическое расстояние между вершинами  $i$  и  $j$ , то:

$$C_c(n_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)} \quad (2.5)$$

Вассерман и Фауст (Wassermann, et al., 1994) предложили нормализовать меру:

$$C^*_c(n_i) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)} \quad (2.6)$$

Как и в случае центральности по степени, если граф ориентированный, то можно считать входную (расстояния от всех вершин до рассматриваемой) и выходную (расстояния от рассматриваемой вершины до остальных) центральности по близости.

Данный показатель находится в интервале от 0 до 1: равен 1, если актер напрямую связан (смежен) со всеми остальными (звездная топология), и стремится к нулю, если один или более акторов практически не достижимы в сети.



Взаимодействие двух не смежных (соседних) акторов может находиться под контролем возможных посредников. Центральность по посредничеству рассчитывается как доля самых коротких путей, соединяющих все пары вершин в сети, которые проходят через данную вершину [Borgatti, 2005]. Рассчитывается по формуле:

$$C_B(n_i) = \sum_j \sum_k \frac{g_{jk}}{g_{jk}(n_i)}, (i \neq j \neq k) \quad (2.7)$$

где  $g_{jk}$  – количество кратчайших путей между вершинами  $j$  и  $k$ ;

$g_{jk}(n_i)$  – количество кратчайших путей между вершинами  $j$  и  $k$ , проходящих через вершину  $i$ .

Этот индекс, который определяет степень посредничества актора, можно рассматривать как вероятность того, что данный актор будет участвовать в коммуникациях двух других акторов как посредник (при условии, что взаимодействие идет по кратчайшему пути).

Минимальное значение индекса (для ориентированной сети): актор нигде не является посредником, т.к. не находится на кратчайших путях, а максимум равен  $(g-1)(g-2)$  – число всех пар акторов, не включающих  $i$ -ого актора (т.е. находится на всех возможных кратчайших путях).

Нормированная версия индекса:

$$C_B'(n_i) = \frac{C_B(n_i)}{(g-1)(g-2)}, \quad (2.8)$$

Наибольший индекс по посредничеству имеет центральный узел в графе-звезде, остальные узлы имеют центральности по посредничеству, равные нулю. В графе-круге все узлы имеют одинаковые центральности по посредничеству.

Расчет с учетом весов связей предложен в [170].

Индивидуальные показатели центральности представлены в Таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Индивидуальные нормированные показатели центральности

Мера центральности	Не ориентированный граф		Оргграф	
	Формула	Смысл	Формула	Смысл
Центральность по степени (нормированная)	$C_d(n_i) = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ji}}{g-1} = \frac{\sum_{i=1}^g x_{ji}}{g-1}$	Известность актора, определяет основное место действий в сети	Входная $C_d(n_{+i}) = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ji}}{g-1}$	Престиж актора, статусность актора
			Выходная $C_d(n_{i+}) = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ij}}{g-1}$	Экспансивность актора, активность актора
Центральность по близости	$C_c(n_i) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^g d(i,j)}$	Эффективность актора в коммуникациях	Входная $C_c(n_{+i}) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^g d(n_j, n_i)}$	Быстрое получение информации от любого узла в сети (если все акторы сильно связаны с данным)
			Выходная $C_c(n_{i+}) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)}$	Быстрое распространение информации в сети (если данный актор сильно связан со всеми другими акторами сети)
Центральность по посредничеству	$C_B(n_i) = \frac{\sum_j \sum_k \frac{g_{jk}}{g_{jk}(n_i)}}{\frac{(g-1)(g-2)}{2}},$ $(i \neq j \neq k)$	Посредничество	$C_B(n_i) = \frac{\sum_j \sum_k \frac{g_{jk}}{g_{jk}(n_i)}}{(g-1)(g-2)},$ $(i \neq j \neq k)$	Посредничество

Существуют и другие меры центральности, например, центральность по доступности (Reach Centrality). Ее можно считать характеристикой, пришедшей из теории «малых миров» [114]. Она показывает минимальное количество шагов (или посредников), необходимых каждому, чтобы через установленные связи достичь каждого другого в сети.

Бонакич (Bonacich) предложил в [107] другой подход к измерению центральности узла в сети. Определение центральности по степени основано на том факте, что чем больше связей ты имеешь, тем на большее количество людей можешь непосредственно воздействовать, но в нем не учитывается то, кто на другом конце связи, насколько он «централен». Бонакич предложил учитывать не

только, сколько у актора связей, но и насколько эти связи «продуктивные», продуктивность определяется центральностью актора на другом конце связи. Центральность по Бонакичу (часто называемая показателем власти) определяется как взвешенная сумма центральностей акторов, которые с ним связаны, а эти центральности – как суммы взвешенных центральностей тех акторов, которые связаны с ними, и т.д.

### 2.2.2 Диады и триады как минимальные паттерны сети

Минимальной подгруппой можно считать диаду. Если диада не направленная, то существует две разных диады: диада, в которой есть связь, и диада, где связи нет. Если направление связи имеет значение (диада направленная), то различают диады трех типов (см. Рисунок 2.1): а) нет связи – нулевая диада (N – Null); б) связь однонаправленная – асимметричная диада (A- asymmetric); в) связь двунаправленная – симметричная, или взаимная диада (M-mutual). Существует, так называемая, MAN- нотация в именовании диад и триад.

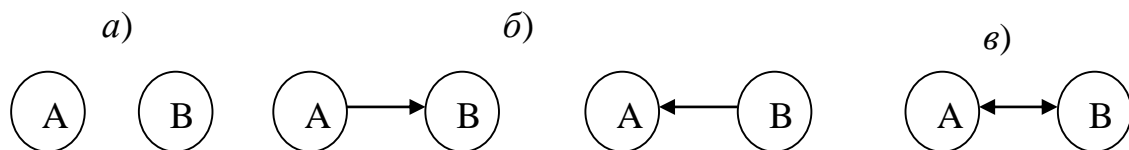


Рисунок 2.1 – Перечень возможных направленных диад

Одной из основных характеристик, рассчитываемых на уровне диад, которая, как предполагает ряд исследователей [174] свидетельствует об устойчивости сети, является ее реципрокность (взаимность, симметричность), эта характеристика определяется для ориентированной сети.

Триада, как и диада, может иметь направленные и не направленные связи. Для направленных диад сформирован «перечень триад», который состоит из упорядоченного списка 16 возможных изморфных классов триад. Каждый класс (тип триады) имеет уникальное MAN-обозначение. В обозначение изоморфного класса триады входят 3 числа: М – число взаимных диад в триаде; А – число асимметричных диад в триаде; N – число нулевых диад в триаде

В некоторых случаях для различения классов необходимо употребление буквы: «D» – вниз (асимметричная связь или связи направлены вниз); «U» – вверх (асимметричная связь или связи направлены вверх); «C» – триада циклична; «Т» – триада транзитивна [126, 125]. Графически перечень представлен на Рисунке 2.2.

Триадный перечень, сформированный для некоторой социальной группы, может быть представлен в виде 16-элементного вектора:

$$\vec{T} = (t_{003}, t_{012}, t_{102}, t_{021D}, t_{021U}, t_{021C}, t_{111D}, t_{111U}, t_{030T}, t_{030C}, t_{201}, t_{120D}, t_{120U}, t_{120C}, t_{210}, t_{300})$$

Триадные перечни не очень распространены в практических исследованиях, хотя содержат полезную и достаточную для решения многих задач информацию. Кроме работ К.Фауст, которые уже упоминались во второй главе, интересное исследование сетей коммуникаций в условиях кризиса на основе анализа триадных перечней приведено в [189].

### 2.2.3 Основные групповые показатели

Двумя основными характеристиками любой сети являются ее размер, равный количеству узлов (акторов) в сети, и плотность сети. Плотность бинарной сети – это доля существующих связей по отношению ко всем возможным связям.

Если  $g$ -количество узлов в сети,  $L$  – число связей в сети, то плотность сети рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \begin{cases} \frac{\frac{L}{g(g-1)}}{\frac{2}{g(g-1)}} = \frac{2L}{g(g-1)}, & \text{для ориентированных сетей} \\ \frac{L}{g(g-1)}, & \text{для неориентированных сетей} \end{cases} \quad (2.9)$$

Для любой сети  $0 \leq \Delta \leq 1$ .

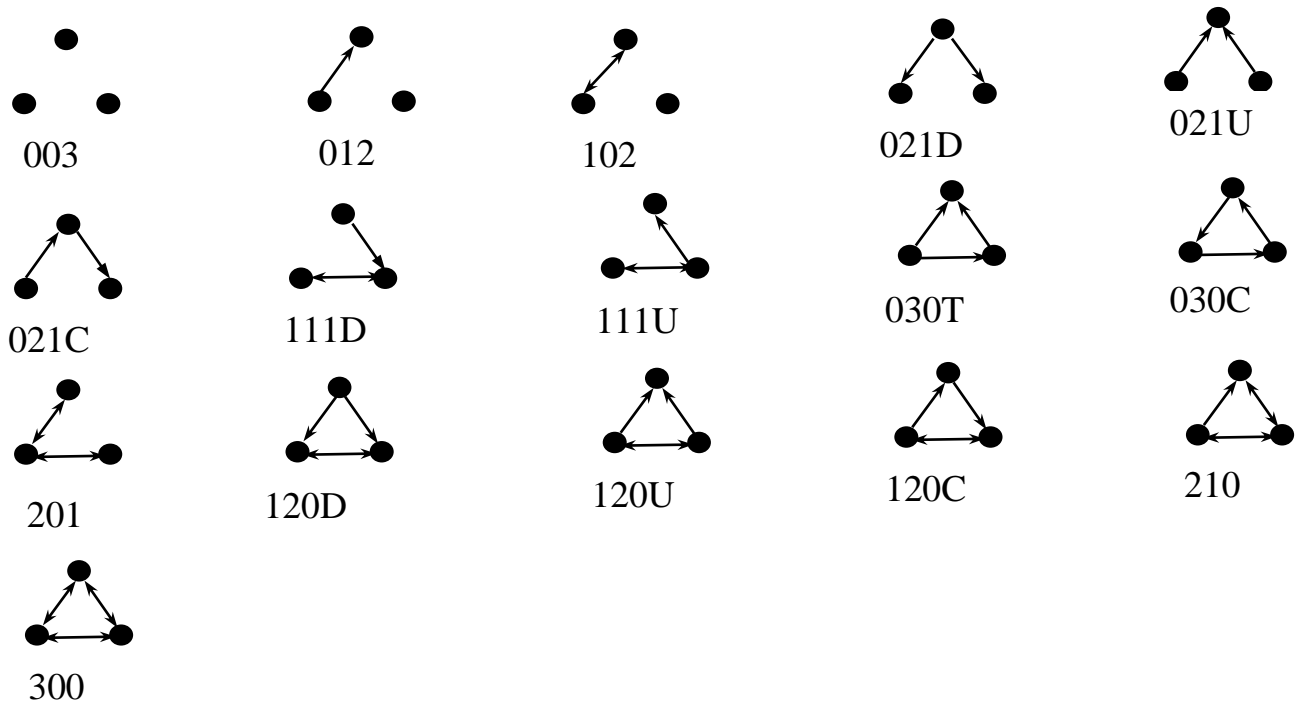


Рисунок 2.2 – Перечень триад с MAN-обозначением

Если  $\Delta=1$ , то граф этой сети полный (каждая пара различных вершин в нем смежная), или клика.

Если  $\Delta=0$ , то все вершины графа изолированы, а граф есть нуль-граф.

Плотность сети показывает, насколько быстро информация может распространяться между узлами сети, и насколько высок уровень социального капитала акторов сети и/или каковы их социальные ограничения.

Плотность сети связана со средним значением центральности по степени, т.к.

$$\Delta = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^g C_d(n_{i+})/g}{g-1} = \frac{\sum_{j=1}^g C_d(n_{+j})/g}{g-1} = \frac{\overline{C_d}}{g-1}, & \text{для ориентированных сетей} \\ \frac{\sum_{i=1}^g C_d(n_i)/g}{(g-1)/2} = \frac{\sum_{j=1}^g C_d(n_j)/g}{(g-1)/2} = \frac{2\overline{C_d}}{g-1}, & \text{для неориентированных сетей} \end{cases} \quad (2.10)$$

где  $C_d(n_{i+})$  есть выходная центральность по степени узла  $i$ , а  $C_d(n_{+j})$  – входная центральность по степени узла  $j$ ,  $\overline{C_d}$  – среднее значение центральности

Определение диаметра дано ранее (в п.1.4.5). Расчет диаметра сети ориентированного графа более сложная задача. Для ориентированного графа диаметр также считается как длина самого длинного геодезического пути между двумя вершинами. Это определение имеет смысл, если такой путь существует, т.е.

граф сильно связный или рекурсивно связный. Для слабо связных или односторонне связных ориентированных графов диаметр не определен.

Для того чтобы охарактеризовать сеть в целом с точки зрения однородности (гомогенности) составляющих ее акторов, используют меры центральности, рассчитанные для группового уровня.

Первый вариант – вычисление среднего значения центральности ( $\bar{C}_A$ ) в сети, для оценки однородности – среднеквадратичного отклонения ( $S_A$ ). Например, для неориентированной сети:

$$\bar{C}_A = \frac{\sum_{i=1}^g C_A(n_i)}{g}, \quad S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g (C_A(n_i) - \bar{C}_A)^2}{g}}, \quad (2.11)$$

В качестве второго варианта оценки можно использовать предложенное Фриманом [131] семейство индексов централизации, каждый из которых отражает вариативность индивидуальных индексов определенного типа центральности:

$$C_A^F = \frac{\sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]}{\max \sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]} \quad (2.12)$$

где  $C_A(n_i)$  – показатель центральности  $i$ -го актора;

$C_A(n^*) = \max_i C_A(n_i)$  – максимальное значение центральности среди всех  $g$  акторов в сети;

$\sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]$  – сумма разностей между наибольшим и всеми остальными значениями центральностей в сети;

$\max \sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]$  – теоретическая максимально возможная сумма разностей между центральностями акторов. Обычно такая максимальная разница определяется для графа звездной топологии.

Индекс централизации Фримана принимает значение из интервала от 0 до 1. Если он равен 0, то все акторы имеют одинаковые значения центральности. Если этот индекс равен 1, то в сети есть актор, который «полностью доминирует» над другими акторами. Обычно такое доминирование наблюдается в графе звездной топологии, поэтому иногда этот показатель трактуется как удаленность топологии рассматриваемой сети от звездной.

Эти индексы приведены в форме для неориентированной сети.

Групповой индекс централизации по степени определяется по формуле:

$$C_d^F = \frac{\sum_{i=1}^g [C_d(n^*) - C_d(n_i)]}{(g-1)(g-2)} \quad (2.13)$$

Индекс имеет максимальное значение, равное 1, когда один актор связан со всеми остальными, а остальные только с этим центральным актором (граф-звезда). Индекс принимает минимальное значение, равное 0, когда степени всех вершин одинаковы (например, граф-круг).

Групповой индекс централизации по близости определяется по формуле:

$$C_c^F = \frac{\sum_{i=1}^g [C_c(n^*) - C_c(n_i)]}{(g-1)(g-2)/(2g-3)} \quad (2.14)$$

Индекс по близости принимает максимальное значение, когда один из акторов в сети напрямую связан со всеми остальными акторами в сети, а те, в свою очередь, достигают друг друга за 2 шага (граф-звезда). Индекс принимает минимальное значение тогда, когда все расстояния одинаковы, это случай полного графа или графа – круга.

Групповой индекс централизации по посредничеству имеет вид:

$$C_B^F = \frac{2 \sum_{i=1}^g [C_B(n^*) - C_B(n_i)]}{(g-1)^2(g-2)}, \quad (2.15)$$

Фриман доказал, что максимум данный групповой индекс достигает в графе-звезде. Минимум проявляется там, где все акторы имеют одинаковые индексы посредничества – например в графе-круге.

В [171] предложен показатель, отражающий коммуникативную эффективность, сети в целом:

$$E_c = \frac{1}{g(g-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d(n_i, n_j)}, \quad (2.16)$$

где  $d(n_i, n_j)$  – геодезическое расстояние между двумя различными вершинами сети. Данный показатель может быть рассчитан для сильно связной сети. Если это не так, то, как и в случае с показателями центральности по близости, можно либо не учитывать не связные узлы, либо расстояние между ними устанавливать максимальное для данной сети.

Характеристикой, определяющей степень взаимности в группе, является коэффициент взаимности (иногда встречается термин «реципрокность»).

Существует два основных подхода к расчету этого коэффициента:

1. определение доли диад, которые имеют симметричную связь, относительно всех возможных диад в сети (дуговая взаимность);
2. определение доли диад с симметричной связью относительно всех связанных диад (диадная взаимность).

Чаще применяют второй подход, особенно в больших сетях, где многие акторы напрямую не связаны между собой.

Согласно MAN-нотации именования диад, обозначим через  $M$  – число взаимных диад,  $A$  – число асимметричных диад, тогда коэффициент взаимности вычисляется по формуле:

$$K_M = \frac{M}{M+A}, \quad (2.17)$$

Еще один групповой индекс, коэффициент кластеризации ( $K_c$ ), определяет сплоченность сети. Групповой показатель рассчитывается как среднее арифметическое индивидуальных показателей.

Коэффициент кластеризации отдельного узла есть вероятность того, что два ближайших соседа этого узла сами есть ближайшие соседи.

Если  $k_i$  – число соседей актора  $i$ , тогда  $N_3(i) = k_i(k_i - 1)/2$  – число связей в полном графе, сформированном из числа ближайших соседей (число возможных связей в неориентированном графе и  $k_i$ ).  $N_\Delta(i)$  – определяет число существующих связей между непосредственными соседями актора  $i$ :

$$k_i^c = \frac{2N_\Delta(i)}{k_i(k_i-1)}, \quad (2.18)$$

Групповой коэффициент кластеризации может быть представлен как:

$$K_c = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g k_i^c, \quad (2.19)$$

Формула (2.19) верна для бинарных сетей. Для взвешенных сетей показатели могут быть вычислены с учетом весов связей. В [173] приведены несколько вариантов расчета коэффициентов кластеризации сетей с учетом весов связей.

В ориентированных сетях может быть рассчитан коэффициент транзитивности. Алгоритм расчета описан в п.1.4.4.



Характеристикой, определяющей взаимоотношение сети с внешней средой, является E-I (External – Internal) индекс. Этот же показатель может быть определен для некоторой подгруппы (сообщества). Введен Кракхардом и Штерном в [154], основан на сравнении существующих внешних и внутренних связей в группе.

Вычисляется по формуле:

$$C_{E-I} = \frac{EL-IL}{EL+IL}, \quad (2.20)$$

где EL – число внешних связей (членов группы с кем-то из внешней среды);

IL – число связей внутри группы.

Направление связей игнорируется.

E-I индекс принимает значения от -1 (в группе нет внутренних связей, все связи – внешние) до 1 (у группы нет внешних связей, она изолирована от внешнего мира).

Основные групповые характеристики с формулами расчета приведены в Табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Основные групповые характеристики, используемые в исследовании

№	Показатель	Описание	Формула
1	Плотность	Доля существующих связей по отношению ко всем возможным связям.	$\Delta$ $= \begin{cases} \frac{L}{g(g-1)}, & \text{для ориентированных сетей} \\ \frac{2L}{g(g-1)}, & \text{для неориентированных сетей} \end{cases}$
2	Диаметр	Длина самого большого геодезического расстояния в связной (неориентированной) сети	$D = \max_{i,j} d(n_i, n_j),$ $d(n_i, n_j)$ – расстояние между $i$ -ым и $j$ -ым узлами сети
3	Показатели однородности	Индекс централизации Фримана	$C_A^F = \frac{\sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]}{\max \sum_{i=1}^g [C_A(n^*) - C_A(n_i)]}$
		Среднее значение показателя центральности	$\bar{C}_A = \frac{\sum_{i=1}^g C_A(n_i)}{g}$
		Среднеквадратичное отклонение	$S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g (C_A(n_i) - \bar{C}_A)^2}{g}}$

Продолжение Таблицы 2.5

№	Показатель	Описание	Формула
4	Показатель коммуникативной эффективности	Эффективность коммуникаций	$E_c = \frac{1}{g(g-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d(n_i, n_j)}$
5	Коэффициент взаимности	Доля диад с симметричной связью относительно всех связных диад	$K_M = \frac{M}{M+A}$ , <i>M – число взаимных диад,</i> <i>A – число асимметричных диад</i>
6	Коэффициент кластеризации	Коэффициент кластеризации сети есть среднее арифметическое коэффициентов кластеризации ее узлов	$K_C = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g k_i^c$ , $k_i^c = \frac{2N_{\Delta}(i)}{k_i(k_i-1)}$ – коэффициент кластеризации <i>i-го узла</i>
7	Е-І индекс	Основан на сравнении существующих внешних и внутренних связей в группе	$C_{E-I} = \frac{EL-IL}{EL+IL}$ , <i>EL – число внешних связей</i> <i>IL – число внутренних связей</i>

## 2.3 Методика определения аутопозза в системе

Для определения того, в какой степени система обладает свойством аутопозза, была предложена следующая методика:

- Определение стандартных показателей:
  - размера;
  - плотности (или среднего значения центральности узла сети);
- Определение показателей сплоченности:
  - коэффициента взаимности ( $K_M$ ),
  - коэффициента кластеризации ( $K_C$ ),
  - коэффициента транзитивности ( $K_{Tr}$ ),
  - диаметра сети ( $D$ ).
- Определение показателей однородности сети:
  - среднеквадратичных отклонений основных показателей центральности ( $S_A$ );
  - индексов централизации по Фриману ( $C_A^F$ )

- Определение степени структурной сбалансированности сети в соответствии с основными теориями и моделями структурного баланса на основе получения триадного перечня сети (для социальных сетей);
- Нахождение циклических структурных паттернов (для экономических сетей).

### **2.3.1 Теории структурного баланса**

Исследуя свойство аутопоэза в социальных группах, можно руководствоваться высказыванием Н. Лумана о том, что любую социальную систему можно считать аутопоэтической. Желены утверждал, что естественные социальные системы аутопоэтичны по своей природе.

В реальной жизни мы наблюдаем социальные системы, которые существуют длительный промежуток времени. Их члены поддерживают дружеские или просто коммуникационные связи в течение многих лет, и есть группы, формально организованные, которые существуют, пока существует эта формальная необходимость.

Какие группы имеют вероятность просуществовать дольше, воспроизводя связи которые их создают? На этот вопрос могут дать ответ теории, определяющие наличие структурного баланса в сети. Можно утверждать, что структурно сбалансированная группа является более устойчивой во времени, чем группа, где это условие нарушено.

Одной из первых теорий структурного баланса считают теорию когнитивного баланса, разработанную основателем гештальт-психологии Фрицом Хайдером [141, 142].

Хайдер называл когнитивную структуру воспринимающего субъекта сбалансированной, если в ней позитивные отношения транзитивны (выполняется «друг моего друга – мой друг»), а негативные — не транзитивны (не выполняется «враг моего врага – мой враг»), и не сбалансированной, если в ней, напротив, позитивные отношения не транзитивны, а негативные – транзитивны.

Хайдер применил, так называемые РОХ-модели, являющиеся циклами из 3 связей. В таких циклах обычно вычисляют произведение знаков связей, и говорят

о знаке цикла. Граф является сбалансированным, если все его циклы из 3 связей имеют положительный знак.

Картрайт и Харари в [111] обобщили когнитивный баланс, применив эту концепцию для исследования социальных сетей; для изображения этих сетей был использован граф, связи которого имеют положительные и отрицательные веса. Они пришли к выводу, что структурно сбалансированный граф, ребра которого имеют знак, может быть разделен на два подграфа, в каждом из которых внутренние ребра имеют положительные знаки, а ребра, соединяющие подграфы, имеют отрицательные знаки.

Если в графе нет циклов, то он считается «неопределенно сбалансированным» (*vacuously balanced*).

Верна *структурная теорема*: группа, имеющая сбалансированный полный граф отношений, всегда разбивается на две антагонистические подгруппы (одна из них может быть пустой). Члены каждой связаны между собой только позитивными отношениями, а сами подгруппы – только отрицательными [41].

В орграфах симметричные связи могут интерпретироваться как положительные связи, а отсутствующие (нулевые) связи воспринимаются как отрицательные [147]. Тогда, сбалансированный орграф состоит из двух изолированных подграфов, в которых вершины связаны симметричными дугами. Если рассматривать эту концепцию на уровне триад, то в сбалансированном орграфе разрешенными триадами являются триады – 300 и 102 (см. триадный перечень), остальные триады противоречат этой концепции.

На практике не всегда наблюдается такое разбиение на 2 подграфа. Дж. Дэвис [115, 118, 119] связал структурный баланс графа с более воспринимаемым в социологии понятием кластеризации, которое предполагает наличие в графе социальной сети более чем двух подграфов. В кластеризованном (*clusterable*) графе вершины могут быть распределены по более, чем двум подграфам, с тем же условием, что и в теории Хайдера–Картрайта–Харари: в подграфе могут быть только симметричные связи (положительные), и между подграфами нет связей

(связи отрицательные). В этой модели разрешенное множество триад: {300, 102, 003}, остальные триады противоречат данной концепции.

Дэвис и Лейнхардт собрали большой статистический материал (около 800 социоматриц) из разных источников. Первое, с чем они столкнулись, что большинство связей имеют направление. Второе, на что они обратили внимание, что достаточно частой является асимметричная диада. Идеи баланса и кластеризации должны были быть приведены в соответствие с этими положениями.

Были введены отношения иерархии между кластерами, появилась модель кластеров [117]. Иерархичность состоит в том, что члены группы с более низким статусом предпочитают (выбирают) членов с более высоким статусом, которые не отвечают им взаимностью. Эта модель дополняет кластерную модель, допуская возможность существования направленных (асимметричных связей) между подграфами, и эти связи отображают существующую иерархию между подграфами. Для этой модели разрешенное множество триад следующее – {300, 102, 003, 120D, 120U, 030T, 021D, 021U} [127] модель сбалансированной сети [143-145] – это наиболее общая модель, включающая остальные описанные модели как частные случаи. Согласно этой модели для всех троек узлов  $j, j, k$ : если существуют связи  $i \rightarrow j$  и  $j \rightarrow k$ , то должна существовать и связь  $i \rightarrow k$ . Все триады, в которых нарушено это свойство транзитивности, считаются запрещенными в модели. Разрешенными также считаются триады, поддерживающие иерархию связей.

При определении разрешенного множества триад для данной модели существует некоторое расхождение во мнениях. В [126] в качестве такого множества рассматривается множество – {300, 102, 003, 120D, 120U, 030T, 021D, 021U, 012}.

В [184] к приведенному множеству добавляют триаду 210, которая обладает тем же весом транзитивности, что и триада 300 (0,75). В данном исследовании мы посчитали возможным также включить ее во множество разрешенных триад модели транзитивности, т.е. множеством, удовлетворяющим условиям транзитивной модели будем считать множество – {300, 102, 003, 120D, 120U, 030T, 021D, 021U, 012, 210}.

В Таблице 2.6 приведены все описанные теории баланса и соответствующие им множества разрешенных триад.

Таблица 2.6 – Теории структурного баланса и разрешенные типы триад

№	Теория (модель)	Авторы	Разрешенные типы триад
1	Теория когнитивного баланса [142]	Ф. Хайдер, Д.Картрайт, Ф.Харари	300, 102
2	Модель кластеров [115, 118, 119]	Дж.Дэвис	300, 102, 003
3	Модель ранжированных кластеров [117]	Дж. Дэвис, С. Лейнхардт	300, 102, 003, 120D, 120U, 030T, 021D, 021U
4	Модель транзитивности [143-145]	П.В.Холланд, С. Лейнхардт	300, 102, 003, 120D, 120U, 030T, 021D, 021U, 012, 210

Выделив триады, обеспечивающие структурный баланс, можно утверждать, что можно выделить минимальный паттерн сети, обеспечивающий ее устойчивость, т.е. ее аутопоэтический паттерн.

В [120] предлагается еще одна модель «иерархических кластеров», в которой разрешены дополнительно триады типов 210 и 120С, но эта модель признается не всеми исследователями.

### 2.3.2 Методика идентификации циклических контуров в сети коммуникаций

Задача нахождения циклических контуров в сети соответствует задаче нахождения простых циклов в графе из теории графов.

Для поиска таких циклов обычно применяют следующий алгоритм:

1. Из исходной матрицы коммуникаций (матрица взаимных платежей для экономической системы или социоматрица для социальной системы) обычно получают бинарную матрицу связей: элемент матрицы связей равен 1, если соответствующий элемент исходной матрицы больше 0, и равен нулю, иначе.
2. Из матрицы исключают тупиковые элементы, производя сжатие матрицы:
  - а. если найдена строка, содержащая только нулевые элементы, то она и столбец с тем же номером исключаются из матрицы;
  - б. если найден столбец со всеми нулевыми элементами, то он и строка с тем же номером исключаются из матрицы.

с. пункты а) и б) повторяются до тех пор, пока в результирующей матрице не останутся только не нулевые строки и столбцы.

### 3. Выполняют алгоритм поиска в глубину (DFS).

Поиск в глубину (англ. depth-first search, DFS)[3, 121]– это рекурсивный алгоритм обхода вершин графа, который предполагает продвижение вглубь до тех пор, пока это возможно. Невозможность дальнейшего продвижения, означает, что следующим шагом будет переход на последний, имеющий несколько вариантов движения (один из которых исследован полностью), ранее посещенный узел.

Отсутствие последнего свидетельствует об одной из двух возможных ситуаций: либо все вершины графа уже просмотрены, либо просмотрены все те, что доступны из вершины, взятой в качестве начальной, но не все в графе (несвязные и ориентированные графы допускают последний вариант). При таком проходе любой возврат назад приводит к обнаружению цикла.

Опишем алгоритм более формально.

1. Выбирается произвольная вершина.
2. Эта вершина отмечается как посещенная.
3. Ищем прямых соседей посещенной вершины. (Прямым соседом считается та вершина, в которую направлена дуга из текущей вершины, т.е. элемент соответствующей строки оргматрицы равен 1).
4. Для каждого прямого соседа выполняются те же действия по поиску прямых соседей, при этом путь сохраняется в стек.
5. Поиск прямых соседей заканчивается либо в тот момент, когда текущая вершина была уже посещена (помечена посещенной), либо, когда все вершины были пройдены.
6. Если текущая вершина уже была посещена, то происходит разбор стека для поиска ее первого вхождения (таким образом определяется цикл).
  - а. Для найденного цикла рассчитывается хеш-функция,
  - б. Если такой цикл не был найден ранее (с таким значением хеш-функции), то он сохраняется в специальной коллекции, текущая вершина исключается из стека.

с. Проводим просмотр прямых соседей для предыдущей вершины из стека.

7. Если все вершины пройдены (помечены как посещенные), конец программы

Была создана программа, которая позволяет находить простые циклы (циклические, или аутопоэтические, паттерны) в графе, кроме того, она позволяет определить основные параметры исследуемой сети (в соответствии с перечнем из п. 2.3. Стартовое окно программы представлено на Рисунке 2.3.

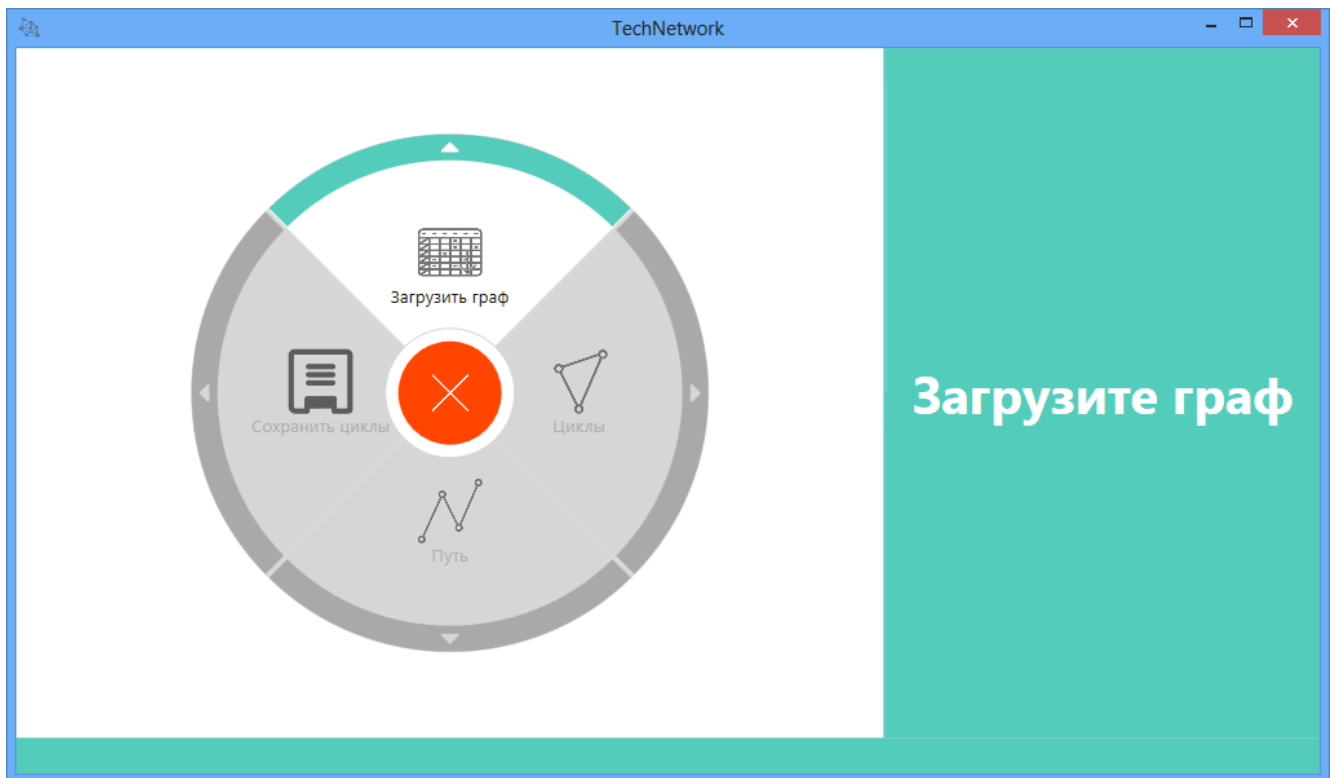


Рисунок 2.3 –Основное окно программной среды нахождения циклических паттернов в сети

Входными данными для программы является оргматрица в формате Excel.

Возможности программы:

- Ввод данных из файла xls- формата;
- Отображение соответствующего орграфа;
- Нахождение основных структурных характеристик;
- Нахождение и графическое отображение кратчайшего пути между вершинами;
- Вывод информации об отдельной вершине;
- Нахождение циклических структур и вывод их в файл.



Результаты работа программы с сетью муниципалитета показана на Рисунке 2.4.

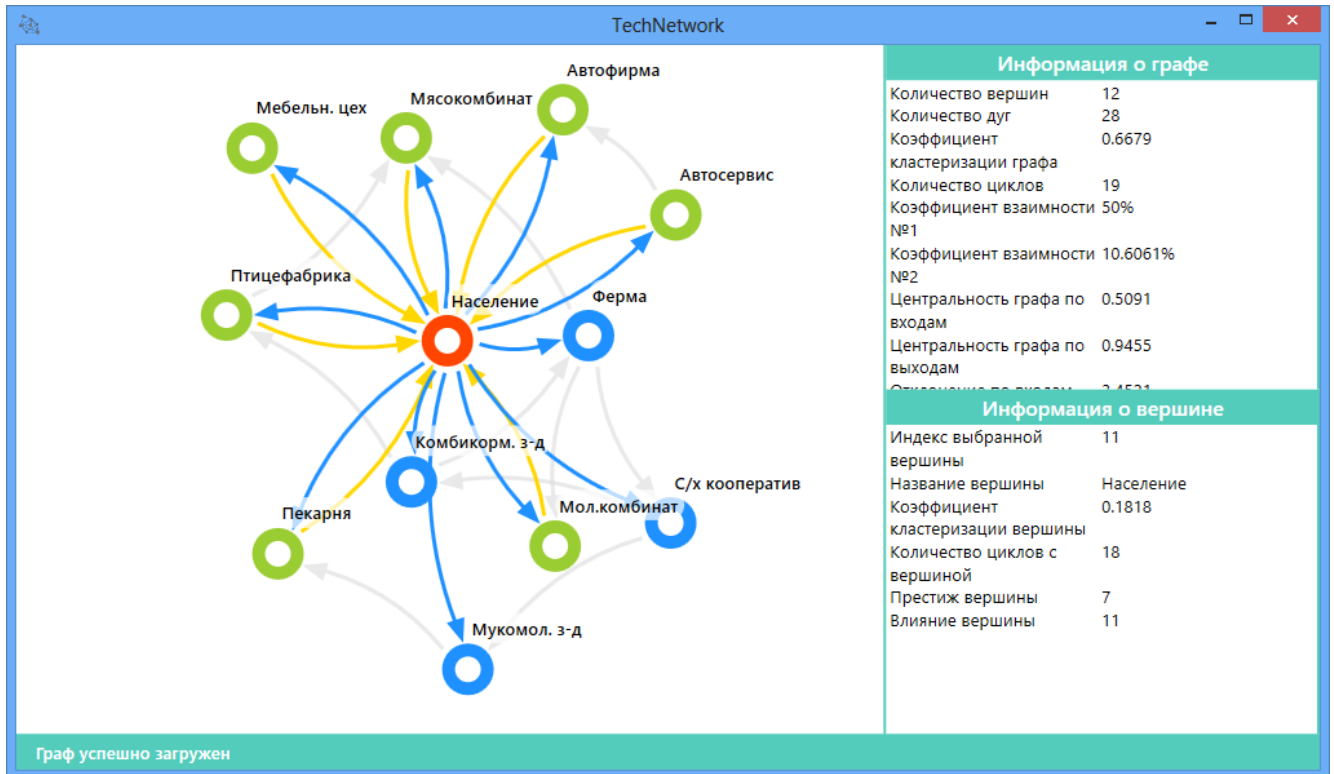


Рисунок 2.4 – Окно программы с сетью муниципалитета и данными об одной из вершин (вершина Население)

## 2.4 Агент-ориентированная технология и выбор среды моделирования

Агент-ориентированное (или просто агентное) моделирование (АОМ) появилось сравнительно недавно – в начале 2000-ых годов. За короткое время развития АОМ даже успело образоваться отдельное направление в экономической теории – агентная вычислительная экономика. Именно агентное моделирование считают ориентированным на создание экономических [5] и социальных моделей, АОМ называют «правильной математикой для социальных наук» [109]. В России агент-ориентированный подход начал разрабатываться в ЦЭМИ РАН, и в настоящее время лидером в этой области можно считать авторский коллектив, возглавляемый В.Л. Макаровым и А.Р. Бахтизиным [5, 53,54].

### 2.4.1 Особенности АОМ

Агент-ориентированная модель включает в себя множество активных сущностей, называемых агентами, которые взаимодействуют между собой через некоторую среду. Эта технология используется достаточно часто и успешно, чему в статье [161] дается следующее объяснение.

Во-первых, сложность мира, в котором мы живем, все возрастает, растет и сложность исследуемых систем, особенно из-за увеличения связей между самими системами. Привычные инструменты моделирования становятся бесполезными в таких условиях. Во-вторых, некоторые системы настолько сложны, что приходится вводить множество предположений, которые нельзя реализовать в математических формулах. В-третьих, собранная и организованная в базы данных информация, может быть использована для разных уровней анализа, а данные микроуровня могут быть использованы для моделирования поведения отдельных агентов. В-четвертых, компьютерная техника развивается быстро, вычислительные мощности растут, и сегодня мы можем создавать полномасштабные модели с практически неограниченным количеством действующих агентов.

Типичная АОМ состоит из трех основных компонентов [162]:

- множества агентов с определенными характеристиками и поведением;
- множества взаимных отношений между агентами и методов их взаимодействия: существуют определенные правила, с кем и как взаимодействует каждый из агентов;
- агентная среда: агенты могут взаимодействовать со средой.

Не существует определения агента, которое принимали бы все исследователи. Н.Дженингс предлагает следующее определение: «Агент – это целостная компьютерная система, которая существует в некоторой среде и способна на автономные независимые действия в этой среде для достижения определенных целей» [146]. В этом определении главное – это автономность и целенаправленность поведения агента.

Другие авторы, например, Бонабью [106], считают, что любой независимый компонент (программный код, модель, индивид и т.д.) может считаться агентом. В

таком случае поведение этого компонента может изменяться от достаточно простого, основанного на правилах вида «если – то», до очень сложного описываемого с помощью сложных поведенческих моделей из области когнитивных теорий или теории искусственного интеллекта.

Часть авторов настаивает на том, что компонент может считаться агентом, только если его поведение адаптивно, т.е. он имеет способность к обучению через свою среду, и динамически изменяет свое поведение в соответствии с накопленным опытом.

Дж. Касты в [112] утверждает, что у агентов должны быть как правила поведения базового уровня, так и правила более высокого уровня - «правила изменения правил». Правила базового уровня обеспечивают ответ на изменения в среде, в то время как «правила изменения правил» обеспечивают адаптацию агента.

В [161, 162] заявлены следующие свойства агентов, которые важны в практическом моделировании:

- агент – это самостоятельная, уникально определяемая сущность, имеющая границу. Должно быть очевидным, что является частью агента, а что нет. Агент имеет атрибуты, которые позволяют его выделить из среды и отделить от других агентов;
- агент является автономной и самоуправляемой сущностью. Агент действует самостоятельно в среде, он также самостоятелен в своих взаимодействиях с другими агентами, по крайней мере, в тех условиях, которые представляют интерес для модели. Агент обладает информацией, которая влияет на его поведение, т.е. на действия и принятие решений. Информация возникает через его взаимодействия с другими агентами и средой;
- агент находится в определенном состоянии, которое может меняться с течением времени. Состояние агента определяется множеством значений его атрибутов. Состояние агент-ориентированной модели есть совокупность состояний агентов, дополненное состоянием среды. Поведение агента зависит от его состояния.

– агент социален по своей природе, взаимодействует с другими агентами системы, изменяя при этом свое поведение. Существуют протоколы взаимодействия агентов в системе.

Типичная структура агента представлена на Рисунке 2.5.

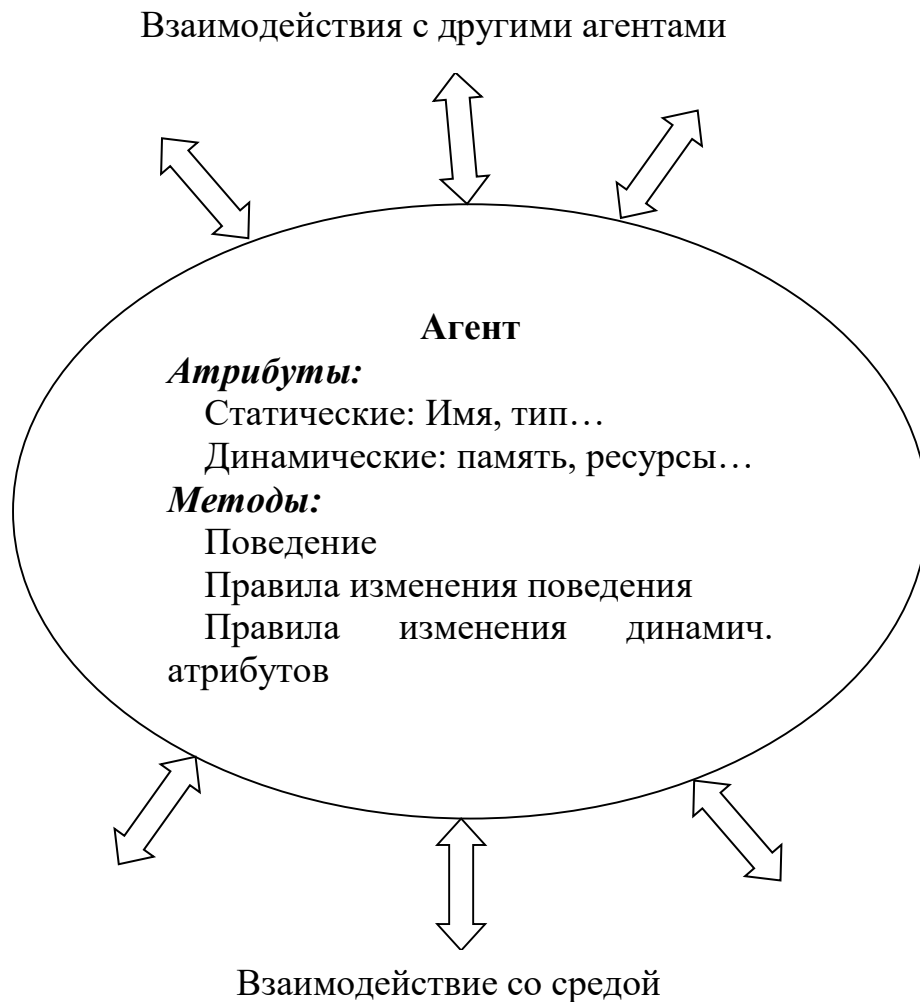


Рисунок 2.5 – Структура типичного агента

Н.Дженингс в своей работе [146] убедительно показал, что АОМ – это технология, которая наилучшим образом позволяет моделировать сложные системы. Э. Бонабью считает АОМ не просто технологией, а особым образом мышления, при котором описание системы осуществляется с позиции ее элементов, т.е. можно говорить о подходе «снизу – вверх».

Преимущества такого подхода использованы и в работе нобелевского лауреата Ангуса Дитона. Его исследования утверждают, что малое оказывает непосредственное влияние на большое. Его работа увязывает вместе микро- и

макроэкономику. Как низкоуровневые решения отдельных людей и организаций влияют на общее развитие экономики? Действительно ли они влияют на него? Нобелевский комитет объясняет выбор лауреатом Дитона следующим: «Предыдущие исследования в макроэкономике, начиная с Кейнса, полагались на усредненные данные. Сегодняшние же исследователи, даже если они исследуют макропроцессы, обычно начинают исследование на микроуровне и потом осторожно собирают вместе индивидуальные данные, чтобы получить статистику для всей экономики».

В мире моделирования наблюдается похожее изменение: моделирование «сверху вниз» («я – бог и решаю, как работает вся моя модель») совершенствуется введением подхода «снизу вверх»: «я задаю индивидуальное поведение объектов и смотрю, как будет работать вся система» [183].

В качестве особенностей АОМ, которые можно считать преимуществами, называют следующие: АОМ позволяет выявить эффекты, которые сложно предсказать; АОМ предлагает наиболее естественное представление системы; АОМ – гибкая технология [106].

Эффекты, выявляемые при АОМ, являются результатом взаимодействий агентов. По определению система не может быть сведена к сумме составляющих ее элементов (свойство эмерджентности). Возникающие эффекты (явления) напрямую не связаны со свойствами элементов системы. Например, транспортная пробка, которая возникает из-за поведения отдельных водителей и взаимного расположения автомобилей, может появиться в направлении, противоположном тому, куда они все движутся.

АОМ применяют тогда, когда ожидают возникновение некоторых эффектов, например, когда:

- поведение отдельного элемента (агента) не может быть описано линейным уравнением, а может быть охарактеризовано некоторыми пороговыми значениями, правилами вида «если – то»;

- поведение отдельного элемента зависит от содержимого памяти, траектории движения, оно не марковского типа, имеет временную корреляцию, включает обучение и адаптацию;
- взаимодействия агентов разнородны и могут вызывать появление сетевых эффектов; обобщенные уравнения потоков обычно предполагают определенную однородность, но топология сети взаимодействия может привести к значительным отклонениям от предсказанного агрегированного поведения;
- средние значения «не работают»; дифференциальные уравнения имеют тенденцию сглаживать возмущения, это не относится к АОМ, что очень важно, т.к. при определенных условиях, возмущения могут быть еще усилены: система может быть линейно устойчива, но выводиться из устойчивого состояния при больших возмущениях.

Сообщество АОМ предлагает новый подход к объяснению социальных феноменов. Эпштейн и Акстел [123] заявляют: «АОМ может изменить способ, с помощью которого мы ищем объяснения явлений в социальных науках... Возможно, однажды мы заменим вопрос: «Можем ли мы это объяснить?» на «Можем ли мы это смоделировать?»

АОМ предполагает естественное описание системы, т.к. описывает ее в терминах активных взаимодействующих сущностей. Если кто-то пытается описать транспортную пробку, фондовый рынок, голосование или как работает некоторая организация, АОМ предлагает это делать так, как это выглядит в реальности. Например, более естественно описать, как покупатели перемещаются по супермаркету, чем вывести уравнения, отражающие динамику изменения плотности покупателей.

Разница между бизнес-процессами и деятельностью агента дает нам еще один пример того, что АОМ более естественный подход. Бизнес-процесс – это абстракция, иногда очень полезная, но которая часто плохо понимается изнутри, теми, кто в них участвует. АОМ смотрит на организацию с точки зрения деятельности, а не бизнес-процесса, описывая именно то, чем работники занимаются.

Эти два описания (деятельностное и процессное) должны быть согласованы, и процессное описание позволяет проверить корректность модели. Но когда необходимо провести валидацию и масштабирование модели, членам моделируемой организации проще отвечать на вопросы о своей деятельности, проще воспринимать модель, где представлена деятельность, а не процессы.

АОМ следует применять тогда, когда описание системы определяется через описание деятельности составляющих ее элементов, т.е. когда:

- поведение субъекта алгоритмически сложно. Оно может быть описано через уравнения, но сложность этих уравнений растет экспоненциально с ростом сложности поведения субъекта;
- описание системы в деятельности субъектов более естественно, чем процессное описание;
- валидация модели и ее масштабирование с привлечением экспертов очень важно. АОМ чаще всего наиболее приемлемый вариант описания того, что в действительности происходит, эксперты могут достаточно просто «подключаться» к модели и получать ощущение причастности к происходящему в ней;
- случайность присуща поведению субъектов. В АОМ источники случайности можно расположить требуемым образом, в отличие от шумов, которые достаточно произвольно вводятся в уравнения.

АОМ – гибкая технология. Гибкость можно рассматривать в разных отношениях. Например, достаточно просто изменить количество агентов в модели. АОМ предлагает инструменты для настройки сложности агентов: поведения, степени их рациональности, способности к обучению и развитию, изменению правил взаимодействия. Еще один аспект гибкости состоит в том, что существует возможность смены уровня описания и агрегирования: можно работать с некоторым агрегирующим агентом, подгруппой агентов или с отдельным агентом. В одной модели существует несколько уровней описания.

Суммируя вышеизложенное, можно утверждать, что применять АОМ следует в случаях:

- когда агенты взаимодействуют сложным, нелинейным, прерывистым или дискретным образом (например, когда поведение агента может измениться достаточно резко, прерваться, из-за других агентов);
- когда пространственные характеристики имеют решающее значение, а позиции отдельных агентов не фиксированы;
- когда популяция агентов гетерогенна: каждый агент имеет свой тип;
- когда топология взаимодействий гетерогенна и сложна. Пример, когда взаимодействия гомогенны и распределены, нет необходимости в АОМ, но социальные сети редко гомогенны, характеризуются наличием кластеризации, что приводит к значительным отклонениям от средних величин;
- когда агенты демонстрируют сложное поведение, включающее обучение и адаптацию.

#### **2.4.2 Выбор системы моделирования**

Существует множество программных сред, позволяющих создавать АОМ. Для их оценки и сравнения обычно используется 2 подхода:

1. определяется набор основных характеристик, в соответствии с ним проводятся оценка и анализ;
2. ставится некоторая условная задача (набор задач), делается попытка решения этой задачи (реализации набора требований) в конкретной системе, оценка осуществляется в зависимости от возможности реализации, трудоемкости процесса создания и эффективности созданной модели.

Первый подход, который можно считать наиболее традиционным, предлагается в Википедии [86], его же можно найти и в [Nikolai, et al., 2009].

В Википедии [86] рассмотрены (по ним можно провести сравнение), 8 характеристик среды разработки: основное назначение, лицензия, требуемый язык программирования, требуемая ОС, поддержка пользователя, соответствует ли требованиям FIPA, возможности ГИС, трехмерные возможности. Всего проанализировано по этим показателям 65 систем.

FIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agents – Фонд интеллектуальных физических агентов) – это подразделение компьютерного сообщества организации



IEEE, определяющее стандарты технологии АОМ, которые обеспечивают «продвижение этой технологии и ее совместимость со стандартами других технологий [129].

Согласно Википедии среда NetLogo [202] обладает следующими характеристиками:

1. основное назначение: используется для создания моделей для социальных и естественных наук, пригодна для начинающих пользователей, создающих свои первые модели;
2. лицензия: свободная (но не с открытым кодом); содержание лицензии состоит в том, что использование среды не ограничено никакими условиями, возможно создание коммерческих приложений, существуют только определенные ограничения на распространение и модификацию кода (без согласования с Ю.Виленски, который является автором);
3. требуемый язык программирования: язык программирования NetLogo;
4. требуемая ОС: любая ОС с установленной виртуальной машиной Java (версии не ниже 1.4);
5. поддержка пользователя: предоставляется документация; FAQ; избранные публикации; обучающие материалы;
6. соответствует ли требованиям FIPA: не заявлено;
7. возможности ГИС: предоставляет возможности ГИС;
8. трехмерные возможности: есть трехмерная графика.

Другое подобное исследование, результаты которого приведены в [168], рассмотрело более 50 систем для создания агент-ориентированных моделей. В основу анализа легли 5 основных характеристик: сложность интерфейса и используемый язык программирования; операционная система, под которой работает среда; тип лицензии (свободная или коммерческая); предметная область, на которую ориентирована среда моделирования.

Рассмотренные характеристики практически те же, что и в первом исследовании, хотя есть и определенные уточнения.

Язык, используемый в NetLogo – это диалект языка Logo с расширением для описания агентов.

Операционная среда – Windows или Mac OS X с предустановленными виртуальной машиной Java (Java Virtual Machine – JVM) или исполнительной средой Java (Java Runtime Environment). В качестве лицензии заявлена GNU General Public License.

Следует отметить, что среда NetLogo была создана в одном из американских университетов (Northwestern University) с целью обучения студентов созданию агентных моделей. В дальнейшем, показав свою способность справляться с достаточно сложными задачами, стала применяться для создания агент-ориентированных моделей в разных предметных областях.

Среда снабжена как встроенной системой поддержки, так большое количество материалов о ней расположено на сайте. Кроме того, среда поставляется с библиотекой моделей, код которых открыт для изучения. Во всех источниках подчеркивается высокий уровень поддержки пользователей этой системы.

Второй из описанных подходов к оценке сред моделирования применен С. Литиненом и С. Рэйлсбеком и описан в [179, 160], заявлен, но не полностью реализован Авиловым К.К. и Соловей О.Ю. в [1]. Суть его состоит в следующем: ставится некоторая задача по разработке модели (или набора моделей), затем эти модели создаются в каждой из сред, которые исследуются. Результаты сравниваются.

Информационной основой исследований, описываемых в [179, 160] стала, так называемая, «бесполезная» (stupid) модель, которая представляет собой набор из 16 шаблонов требований к создаваемой системе. Эти шаблоны требований соответствуют тем, которые обычно предъявляют к реальным моделям.

Первый шаблон – это некоторые базовые требования, затем при переходе к шаблонам более высоких уровней, требования усложняются. Применяя этот подход, был проведен анализ следующих сред моделирования: Swarm, Java Swarm, Repast, MASON и NetLogo (все среды кроме MASON – свободное ПО, MASON

имеет свободную лицензию и дает открытый код для учебных заведений). Именно эти платформы считаются наиболее успешными, потому что они поддерживают стандартное проектирование кода, обеспечивают проектировщика необходимыми инструментами, при этом не ограничивают предметную область и сложность модели.

В результате проведенных исследований был сделан вывод о том, что, хотя система NetLogo была создана в учебных целях и ее специализированный язык проще, чем объектный Си или Java, используемые во многих других системах, она успешно может использоваться для создания серьезных агент-ориентированных моделей. Авторы исследования [179, 160] признаются, что сначала хотели даже исключить эту среду из полного исследования (рассмотрев частично ее возможности), но оказалось, что все тестовые модели могут быть реализованы в этой среде, причем при этом требуется меньше усилий, чем на других платформах.

Единственным выявленным недостатком этой среды является пониженная (по сравнению с другими рассматриваемыми средами) скорость работы модели. Однако время моделирования – это не самые значительные временные затраты, если сравнивать их со временем освоения среды и создания в ней модели.

На Седьмой всероссийской научно-практической конференции «ИММОД-2015» [10] в пленарном докладе Борщева А.В. были приведены некоторые статистические данные использования сред имитационного моделирования (Рисунок 2.6).

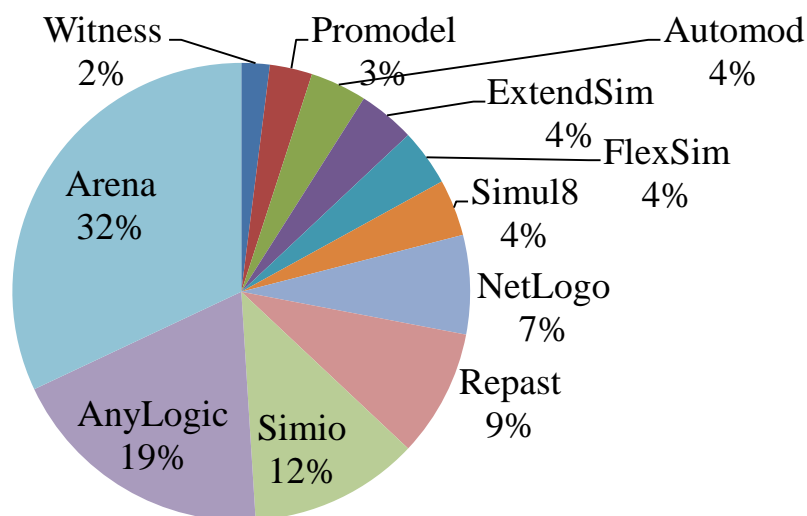


Рисунок 2.6 – Распределение рынка сред моделирования

### 2.4.3 Протокол описания агент-ориентированных моделей ODD-протокол

Рядом ученых (Волкером Гриммом, Стивеном Рэйлсбэком и др.) был предложен протокол описания агент-ориентированных моделей. Авторы объясняют необходимость создания такого протокола двумя взаимосвязанными проблемами [135]: отсутствием стандарта описания АОМ и тем, что эти модели обычно сопровождают словесным описанием, не приводя никаких уравнений, правил и расписаний действия агентов в модели. Словесные описания, по мнению авторов, громоздки и могут ввести в заблуждение. «Часто мы видим смесь общих рассуждений, словесных описаний процессов и пространных оправданий, почему выбраны те или иные специфические формулировки... что затрудняет процесс получения информации, нужной для понимания и использования модели» [135]. Созданный протокол должен был сочетать общую структуру для описания АОМ, с применением некоторого математического языка.

Протокол состоит из 7 основных элементов, собранных в 3 основных раздела: Overview (Обзор), Design (Проект) и Details (Детали). Первые буквы названий разделов и составили название самого протокола. Структура протокола представлена в Таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Структура протокола ODD

Раздел протокола	Элемент протокола
Обзор	Цель
	Сущности (entities), переменные состояния (state variables), шкалы ( scales, диапазоны значений)
	Процессный обзор и расписание действий
Проект	Концепции проектирования
Детали	Инициализация
	Входные данные
	Подмодели

В первом элементе протокола необходимо ответить на вопросы: «В чем цель моделирования? Зачем создавалась модель? Как ее следует использовать?»

Во втором элементе протокольной структуры должны быть описаны действующие сущности: агенты, пространственные объекты, среда, в которой агенты действуют. Необходимо задать, какими переменными состояниями и/или

поведенческими атрибутами задаются агенты (полный набор), определить пространственные и временные характеристики самой модели.

В третьем элементе протокольной структуры необходимо описать процессы, протекающие в модели (например, коммуникационный процесс, процесс производства и т.д.). Нужно определить кто, что и в каком порядке в модели делает, как и в какие моменты времени изменяются при этом переменные состояния. Здесь, как заявляется авторами протокола, достаточно словесного описания. Если процессов много, то приводится таблица процессов. В этом же разделе дается «расписание» выполнения процессов: какой процесс за каким выполняется, какие переменные состояния изменяет. Должно быть описано, как изменяется модельное время: дискретно или непрерывно, при этом с целью визуализации рекомендуется применение блок-схем.

Четвертый элемент протокола содержит концепции проектирования –это структурно самый сложный элемент, т.к. концепций проектирования десять. Сначала необходимо изложить базовые принципы, т.е. какие общие концепции, теории и гипотезы были использованы при проектировании модели. Затем идут 10 подразделов, каждый соответствует отдельной концепции проектирования:

1. Возникновение (Emergence): какие ключевые результаты определяются атрибутами или поведением агентов в модели; что изменяется при изменении определенных характеристик; есть ли какие-то результаты, которые больше зависят от правил, введенных в модель, чем от поведения отдельных агентов;
2. Адаптация (Adaptation): какие у агентов есть адаптивные характеристики; какими правилами они руководствуются при принятии решений; пытаются ли агенты адаптироваться к среде, изменяя свое поведение;
3. Целеполагание (Objectives): есть ли у агентов какие-либо цели, и как измеряется степень их достижения; при принятии решения какими критериями они руководствуются;
4. Обучение (Learning): могут ли агенты изменять свои адаптационные характеристики со временем в результате накопленного опыта (обучаются ли агенты);

5. Предсказание (Prediction): какие внутренние модели используют агенты для прогнозирования последствий своих действий;
6. Ощущение (Sensing): что агенты способны ощущать и рассматривать; какие аспекты деятельности других сущностей агенты могут воспринимать; являются эти ощущения локальными или глобальными;
7. Взаимодействие (Interaction): какое предполагается взаимодействие между агентами; является это взаимодействие непосредственным, когда участники воздействуют друг на друга, или опосредованным, например, через некоторую конкуренцию за ограниченный ресурс;
8. Стохастичность (Stochasticity): процессы моделируются в предположении, что они полностью стохастические или частично;
9. Коллективы (Collectives): образуют ли агенты некоторые коллективы (группы), эти группы могут быть важным промежуточным уровнем в структуре системы; как эти коллективы представлены в модели: как отдельные сущности или просто объединения индивидов;
10. Наблюдения (Observation): какие данные выдает модель, в каком виде они выдаются, как их анализировать;

Пятый протокольный элемент описания модели - «Инициализация» - должен описывать начальное состояние модели, т.е. ее состояние в момент времени ( $t=0$ ); Должно быть описано, какие агенты создаются в начале моделирования, и какие у них устанавливаются значения атрибутов. Необходимо также описать, всегда значения атрибутов одни и те же, или различные, и генерируются они случайным образом или как-то задаются.

В шестом элементе протокола определяется, есть ли у модели какие-то входные данные, и, если да, то из каких источников (внешних файлов, других моделей) они извлекаются.

В седьмом элементе определяются все подмодели, используемые в модели. Такой подмоделью может стать модель процесса, включенного в расписание модели. Приводится описание параметров подмодели, ее размерность; как подмодель проектируется или выбирается, тестируется.

## 2.5 Комплекс агент-ориентированных моделей (АОМ) экономических коммуникаций

Для исследования явления аутопоэза в системах экономических коммуникаций создан комплекс агент-ориентированных программных моделей, перечень которых приведен в Таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Состав комплекса АОМ коммуникаций агентов, связанных производственными отношениями

Название модели	Характеристика
Базовая модель	Базовый алгоритм коммуникаций (описан выше)
Модель стратегий	Агенты отличаются стратегиями поведения $STR = \{str_j\}_{j=1}^5$
Модель муниципалитета	Матрица взаимных платежей ( $W_{N \times N}$ ) составлена по реальным экономическим данным
Модель открытой системы	Агенты внешней среды введены в матрицу взаимных платежей. Использованы два типа финансовых ресурсов: реальные ( $\vec{M}_r(t)$ ), $K_r$ ) и виртуальные ( $\vec{M}_v(t)$ , $K_v$ ), $K = K_r + K_v$
Производственно-коммуникационная модель	Введен этап производства, на котором корректируются объемы производства ( $\vec{X}(t)$ )

### 2.5.1 Базовая модель

Базовая модель, как и все остальные модели комплекса, создана в среде NetLogo [202], моделируется коммуникационный процесс между агентами – производителями продукции. Система основана на отношениях типа B2B (Business to Business – бизнес для бизнеса). В этой модели система закрытая.

Коммуникационный процесс состоит из отдельных операций, которые по своей сути являются обменными: производится обмен товара на деньги (финансовые ресурсы). Межотраслевой баланс (МОБ) Леонтьева определяет условия обмена, задавая для каждого агента (отрасли) ограничения на потребление сырья (продукции других отраслей) и определяя программу собственного выпуска.

Общая постановка задачи управления описана в п. 1.5. Опишем, как она реализована в модели.

Агенты ( $Ag_i, i=1..n$ ) производят продукцию в объемах  $x_i$ , где  $\vec{X}$  ( $\vec{X} = (x_i)_{i=1}^N$ ) – вектор выпуска экономической системы. Для обеспечения своего производства агенты потребляют продукцию других агентов этой экономической системы в объемах  $w_{ki}$ , где  $w_{ki}$  – потребность  $i$ -ого агента в продукции  $k$ -ого агента. Для каждого  $i$ -ого агента системы определен вектор  $\vec{w}_i$  потребностей в продукции других агентов ( $\vec{w}_i = (w_{ik})_{k=1}^N$ ).

Потребность  $i$ -ого агента в продукции  $k$ -ого агента ( $w_{ki}$ ) прямо пропорциональна объему выпуска  $i$ -ого агента ( $x_i$ ) и определяется коэффициентом  $a_{ki} = \frac{w_{ki}}{x_i}$ , который является безразмерным. Совокупность таких коэффициентов  $a_{ki}$  ( $k=1..N, i=1..N$ ) образует технологическую матрицу ( $A$ ). Элемент  $a_{ki}$ , показывает, какое количество продукции  $k$ -го агента требуется для производства единицы продукции  $i$ -го агента.

Вектор потребностей  $i$ -ого агента имеет вид:  $\vec{w}_i = [a_{1i} \cdot x_i, a_{2i} \cdot x_i, \dots, a_{ni} \cdot x_i]$ .

В общем случае после обмена произведенной продукцией между агентами у каждого агента остается некоторая часть своей продукции, расходуемая на непроеизводственное потребление ( $y_i$ ). Вектор  $\vec{Y}$  ( $\vec{Y} = (y_i)_{i=1}^N$ ) – вектор свободных остатков экономической системы.

Статический вариант МОБ Леонтьева определяется векторным уравнением:

$$\vec{X} - A\vec{X} = \vec{Y}, \quad (2.21)$$

Вектора  $\vec{X}$  и  $\vec{Y}$  обычно задаются в стоимостном выражении.

В любых процессах обмена товарами всегда участвуют определенные финансы, поэтому они введены в модель. Объем финансовых ресурсов в системе пропорционален товару, имеющемуся в ней, коэффициент пропорциональности ( $K$ ) есть коэффициент обеспеченности финансовыми ресурсами экономической системы.

Система в целом характеризуется вектором выпуска агентов ( $\vec{X} = (x_i)_{i=1}^N$ ), вектором свободных остатков ( $\vec{Y} = (y_i)_{i=1}^N$ ), технологической матрицей ( $A$ ), и коэффициентом обеспеченности финансами ( $K$ ).



Рассмотрим отдельного агента. Состояние  $i$ -го агента в соответствии с МОБ в момент времени  $t$  характеризуется имеющимся у него объемом выпуска ( $x_i(t)$ ); свободным остатком  $y_i(t)$ ); вектором необеспеченных потребностей в ресурсах – продукции других агентов системы ( $\vec{w}_i(t)$ ). Для определения объема финансовых средств, имеющихся в распоряжении каждого агента, введена характеристика – состояние финансового счета агента ( $m_i(t)$ ).

Согласно постановке задачи управления, вектор характеристик  $i$ -го агента в момент времени  $t$ :

$$\vec{c}(t) = \langle x_i(t), y_i(t), \vec{w}_i(t), m_i(t) \rangle \quad (2.22)$$

В начальный момент времени (при  $t=0$ ) состояния агентов определяются значениями, рассчитанными на основе МОБ: имеющийся товар равен объему выпуска ( $x_i$ ), свободный остаток – расчетному свободному остатку ( $y_i$ ), вектор необеспеченных потребностей в ресурсах – расчетному вектору  $\vec{w}_i$ :

$$x_i(0) = x_i; y_i(0) = y_i = \text{const}; \vec{w}_i(0) = \vec{w}_i, \quad (2.23)$$

Агенты в начальный момент времени авансируются, причем этот аванс в конце коммуникативного этапа списывается с их счетов. Аванс определяется коэффициентом обеспеченности финансами ( $K$ ) и объемом произведенной продукции. Величина аванса, зачисляемого на счет агента, вычисляется по формуле:

$$m_i = x_i \times K \quad (2.24)$$

где  $m_i$  – финансовые средства, зачисленные на счет  $i$ -ого агента в качестве аванса;  $x_i$  – объем товара, привезенный для обмена (объем выпуска за вычетом собственных производственных нужд);  $K$  – коэффициент обеспеченности финансами.

Согласно (2.22 – 2.24) состояние  $i$ -го агента в начальный момент времени ( $t_0$ ):

$$Ag_i(t_0) = \langle x_i, y_i, \vec{w}_i, m_i \rangle \quad (2.25)$$

При выполнении условия баланса на конец моделирования ( $t=t_k$ ) состояние  $i$ -го агента должно быть:

$$Ag_i(t_k) = \langle 0, y_i, \vec{0}, m_i \rangle \quad (2.26)$$

Свой товар распродан полностью ( $x_i(t_k)=0$ ), полностью обеспечены потребности в ресурсах, поставляемых другими агентами ( $\vec{w}_i = \vec{0}$ ), количество

финансовых средств на счету по сумме равно выданному в начале цикла обмена авансу ( $m_i(t_k) = m_i$ ).

Время для агента изменяется дискретно, а закон изменения его состояния выражается общим для всех агентов набором правил, по которому любой агент на каждом шаге вычисляет свое новое состояние, исходя из своего текущего состояния и состояний других агентов системы. Управляющее правило перехода для  $i$ -го агента записывается в виде:

$$Ag_i(t + 1) = F(Ag_i(t), \{Ag_j(t), \forall Ag_j \in Ag, j \neq i\}), \quad (2.27)$$

где  $Ag_i(t)$  и  $Ag_i(t + 1)$  – два последовательных во времени состояния  $i$ -го агента, а  $\{Ag_j(t), \forall Ag_j \in Ag, j \neq i\}$ , – множество состояний остальных агентов системы в момент времени  $t$ .

Основная цель агента – вступить в коммуникацию для получения нужного ему ресурса в соответствии с текущим состоянием вектора потребностей в ресурсах ( $\vec{W}_i(t)$ ). Это возможно, если агент, инициировавший коммуникацию, находится в состоянии готовности к обмену, т.е. у него есть не обеспеченные потребности и финансы на счету для оплаты:

$$Ag_i(t) = \begin{cases} \text{"готов\_купить"}, & \text{если } (\max(\vec{w}_i(t)) > 0) \& (m_i(t) > 0) \\ \text{"не\_готов\_купить"}, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2.28)$$

Если  $i$ -ый агент «готов» к обмену, то последовательно по текущему списку потребностей ищется его контрагент, т.е. тот агент, с кем обмен возможен.

Такой контрагент должен удовлетворять следующим условиям: в его продукции должен нуждаться  $i$ -ый агент, и у него должна быть в наличии эта продукция:

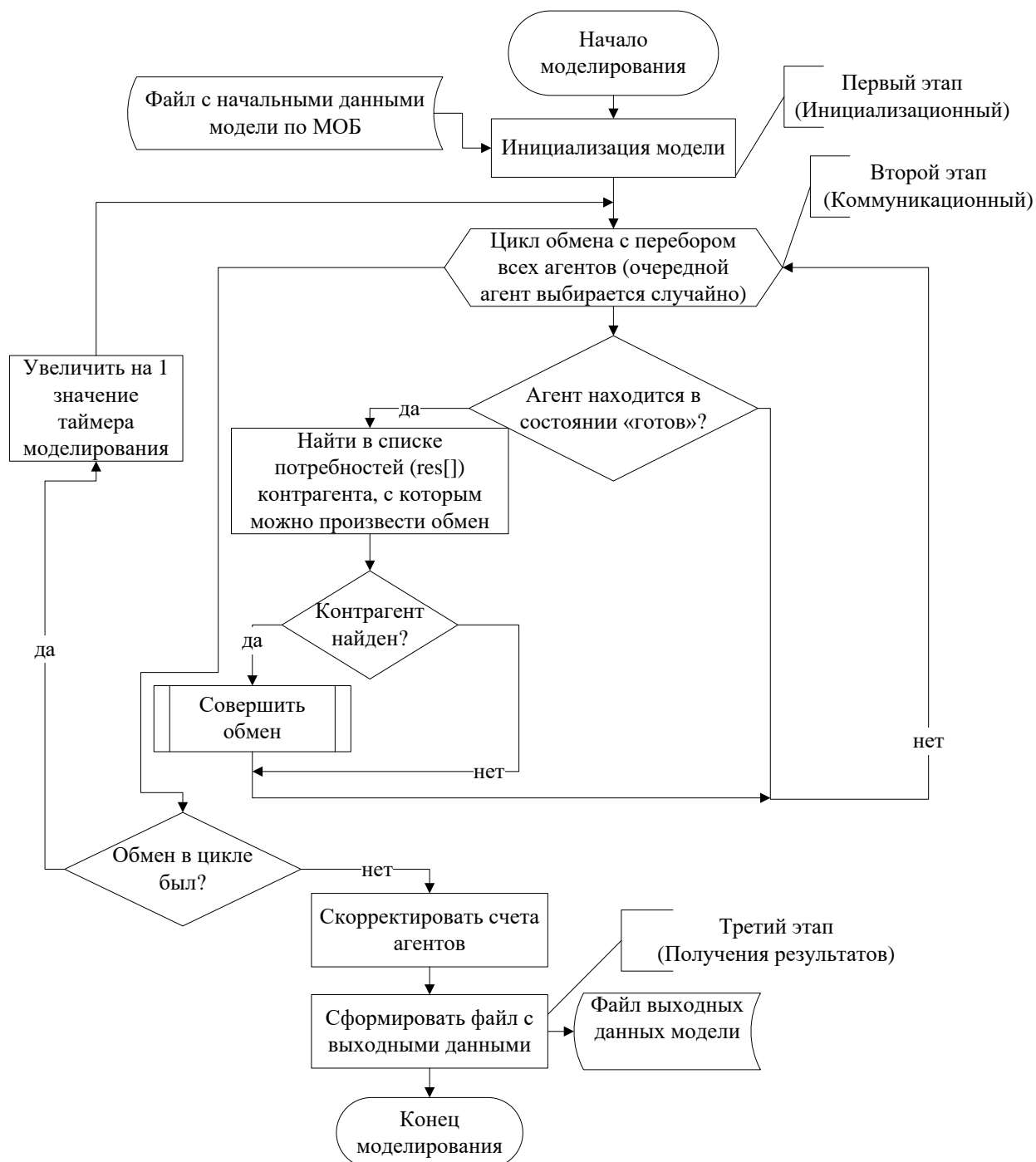
$$Ag_j(t) = \begin{cases} \text{"готов\_продать"}, & \text{если } ((x_j(t) > 0) \& (w_{ji}(t) > 0)) \\ \text{"не\_готов\_продать"}, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2.29)$$

Если контрагент найден ( $j$ -ый агент готов продать), то коммуникация считается возможной, и осуществляется обмен в объеме, равном минимальному из трех значений: потребность  $i$ -го агента в продукции  $j$ -го агента ( $w_{ji}(t)$ ), объем финансовых средств на счету  $i$ -го агента ( $m_i(t)$ ), объем продукции, имеющийся у  $j$ -го агента в наличии ( $x_j(t)$ ). Правило выполнения коммуникации:

$$IF(\exists i, j: (Ag_i(t) = \text{"готов\_купить"}) \& (Ag_j(t) = \text{"готов\_продать"})) THEN (F(t) = communication()) \quad (2.30)$$

Состояния агентов после участия в успешной коммуникации корректируются.

Схема алгоритма функционирования модели показана на Рисуне 2.7.



**Рисунок 2.7 – Схема алгоритма работы базовой модели**

1Алгоритм состоит из трех основных этапов. Первый этап – инициализационный. На этом этапе:

1. задается коэффициент обеспеченности финансами ( $k_{mon}$ ) с помощью управляющего элемента в окне программной модели;
2. читаются данные об агентах из файла;
3. создаются агенты (количество агентов задано в файле);
4. агенты устанавливаются в начальные состояния.
5. определяются начальные значения основных системных переменных:
  - объема финансовых средств в системе (сумма финансовых средств на счетах всех агентов);
  - количества циклов обмена с начала моделирования (обычно 0);
  - количества обменных операций с начала моделирования (обычно 0).

Второй этап – коммуникационный: моделируются коммуникации между агентами в системе. Третий этап – получение результатов: производится расчет результирующих значений макропараметров системы (основных системных переменных) и запись их в выходной файл.

Агенты вступают в коммуникации в процессе экономических обменов. Коммуникационный этап состоит из отдельных циклов. В каждом цикле обмена каждому агенту, выбираемому случайным образом, предоставляется возможность однократно вступить в коммуникацию с другим агентом.

Коммуникационный этап длится до тех пор, пока возможен хотя бы один обмен в системе, т.е. существует хотя бы один агент ( $i$ -ый), у которого в списке потребностей есть хотя бы одна не нулевая текущая потребность ( $w_{ji}$ ,  $j$ -ая по списку), ненулевое количество финансовых средств на счету ( $m_i$ ), а у соответствующего  $j$ -ого агента, называемого далее контрагентом, есть в наличии продукция ( $x_j$ ), т.е. пока истинно следующее высказывание:

$$[\exists i, \exists j: (w_{ij} \neq 0) \wedge (m_i \neq 0) \wedge (x_j \neq 0)] \quad (2.31)$$

### 2.5.2 Модель стратегий

Для определения, насколько эффективно управление функционированием в данной системе, будет ли она сохранять свойство аутопоэза, было решено протестировать ее при разных стилях поведения агентов. При описанных

экономических коммуникациях изменения в поведении агентов могут касаться двух аспектов: алгоритма выбора контрагента для коммуникации и определения объема обмена. Для агента была введена дополнительная характеристика – стратегия обмена.

Стратегия обмена – это характеристика поведения агента, которая определяет объем обмениваемой продукции и алгоритм поиска одного (или нескольких) контрагентов.

Описания стратегий приведены в Таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Характеристики стратегий обмена в системе

№	Стратегия	Алгоритм поиска контрагента	Объем обмена
1	Списковая	Поиск первой не нулевой потребности по списку текущих потребностей	Максимально возможный Min (потребность, финансовые средства на счету, объем продукции у контрагента)
2	Максимальная	Поиск максимальной величины в списке текущих потребностей	Максимально возможный Min (потребность, финансовые средства на счету, объем продукции у контрагента)
3	Равномерная	Поиск всех агентов, потребности в ресурсах которых не нулевые	Одинаковый Финансовые средства на счету / количество контрагентов
4	Последовательная	Поиск первой следующей по списку не нулевой потребности (при достижении конца списка, переход к просмотру с начала)	Максимально возможный Min (потребность, финансовые средства на счету, объем продукции у контрагента)
5	Окрестности (соседства)	Поиск соседних по списку агентов, если в их продукции потребности нулевые, окрестность расширяется	Максимально возможный Min (потребность, финансовые средства на счету, объем продукции у контрагента)

Алгоритм работы модели с разными стратегиям обмена агентов приведен на Рисунке 2.8.

### 2.5.3 Модель муниципалитета

Третья модель из описываемого набора позволяет моделировать коммуникационные процессы между агентами, связь между которыми определяется матрицей взаимных платежей.

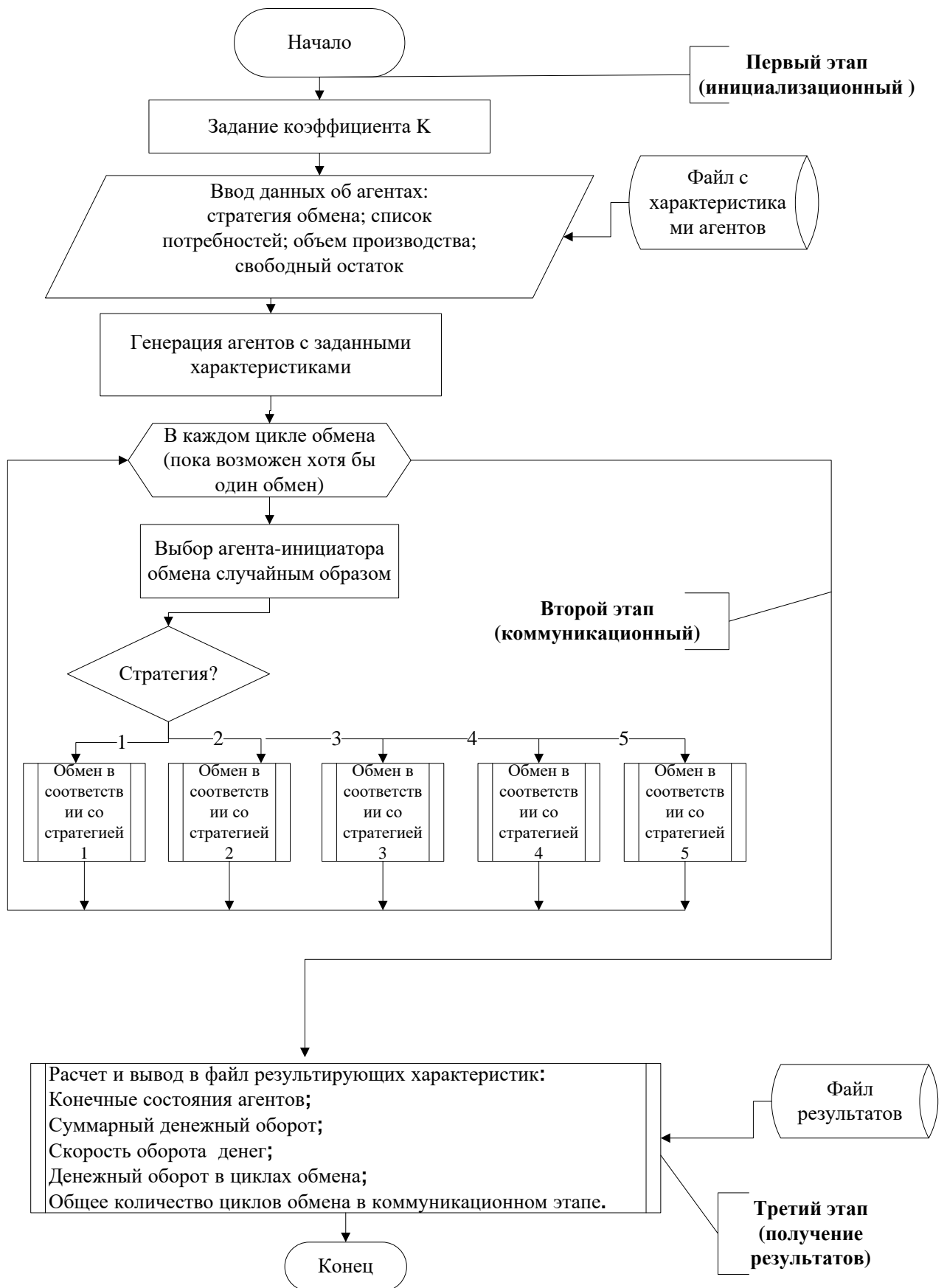


Рисунок 2.8 – Алгоритм работы модели с разными стратегиям обмена агентов

Модель внутреннего рынка муниципальной экономики (сеть муниципалитета) была построена на основе усредненных статистических данных в расчете на 10 000 жителей [33]. Виды производств и объемы потребления их продукции и услуг местным населением были определены на основании анализа потребительской корзины.

В модели действуют 12 агентов: 11 обычных производственных и один агент-население. Агент-население также включен в модель, т.к. участвует в коммуникациях, потребляя ресурсы других производителей и предлагая свой ресурс – рабочую силу.

Список агентов модели: 1 – Сельскохозяйственный производственный кооператив; 2 – Ферма; 3 – Птицефабрика; 4 – Мясокомбинат; 5 – Молочный комбинат; 6 – Пекарня; 7 – Мукомольный завод; 8 – Комбикормовый завод; 9 – Мебельный цех; 10 – Автосервис; 11 – Автофирма; 12 – Население (домохозяйства).

#### **2.5.4 Модель открытой системы**

Все вышеописанные модели представляли собой модели закрытых систем, т.е. все, что производится в экономической системе, в ней же и потребляется, нет импорта и экспорта продукции. Такая закрытость не соответствует реальности, предприятия любого региона что-то импортируют из и/или экспортируют в другие регионы, т.е. вступают в коммуникационные отношения не только между собой, но и с внешней средой.

В модель был введен агент особого типа – внешняя среда. Расположение агента внешней среды в списке агентов задается и может быть изменено в программе.

Агента Внешнюю среду можно трактовать и несколько по-другому. В моделях (1) и (2) речь шла об отношениях типа B2B. В данном случае под внешней средой можно понимать конечного потребителя, т.е. говорить об отношениях типа «B2C» (Business to Consumer – Бизнес для конечного потребителя).

В модели действуют два вида финансовых средств: внешние, или реальные, и внутренние, или виртуальные. О возможности функционирования виртуальных

единиц расчета писал Бернар А. Лиетар [49]. Реальные финансовые средства могут быть использованы во всех обменах, а внутренние – только в обменах между внутренними агентами. При обменах агенты стараются сначала использовать внутренние финансовые средства (ф.с.), а если это невозможно (один из агентов, участвующих в обмене – внешняя среда, или внутренних ф.с. на счету агента нет), то – реальные ф.с..

Количество ф.с. в системе (реальных и внутренних) ограничено и пропорционально объему продукта в системе, коэффициенты пропорциональности устанавливаются перед началом моделирования:  $k_{\text{mon}}$  – коэффициент обеспеченности реальными ф.с.,  $k_{\text{vmon}}$  – коэффициент обеспеченности виртуальными ф.с.

### **2.5.5 Производственно-коммуникационная модель**

В модели коммуникаций агентов с этапом производства в дополнение к инициализационному и коммуникационному этапам введен производственный этап. На этом этапе происходит корректировка программы выпуска агента, если на предыдущем коммуникационном этапе ему не удалось полностью обеспечить себя нужными ресурсами, корректировка происходит на основании нахождения того ресурса, которым агент обеспечил себя в минимальном количестве по отношению к другим ресурсам. Затем снова моделируется коммуникационный этап, после которого – производственный и т.д., до тех пор, пока возможны коммуникации и производство или моделировщик не решил остановить процесс моделирования.

## **2.6 Результаты и выводы по второй главе**

1. В качестве методической основы исследования выбраны: SNA- методология для структурного анализа социальных сетей и агент-ориентированная технология для создания динамических моделей коммуникаций.
2. Сформировано множество сетей социальных и экономических коммуникаций, которые анализируются в исследовании, описаны правила и техники их построения.



3. С целью теоретического обоснования предложенной методики структурного анализа разработана классификация структурных показателей сетей, основанная на уровне объекта, для которого рассчитывается показатель, приведены формулы расчета показателей, при этом учтен тип сети: направленная или не направленная.
4. Разработана методика структурного анализа, включающая определение группы стандартных показателей сети, нахождении комплексного показателя – триадного перечня, на базе которого проводится анализ соответствия рассматриваемых сетей теориям и моделям структурного баланса, и определение аутопоэтических (циклических) паттернов в структуре сети.
5. Описана программная система, автоматизирующая процесс определения основных показателей, использующихся в методике структурного анализа, а также нахождения циклических паттернов в сети.
6. Описан комплекс АОМ. В основе комплекса – базовая модель, задающая некоторые постоянные атрибуты агентов и ограничения, в которых они существуют и взаимодействуют. Каждая новая версия модели расширяет или модифицирует характеристики или поведение агентов, настраиваясь тем самым на решение определенной задачи.

### **3 ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕЙ КОММУНИКАЦИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ**

#### **3.1 Структура сетей коммуникаций в социальных и экономических системах**

##### **3.1.1 Исследование социальных сетей. Определение основных показателей**

Структурный анализ социальных сетей проведен на примере сетей коммуникаций, возникших в результате совместной образовательной деятельности в академических группах. Часть сетей сформирована на основе информации, собранной через информационную систему (первые четыре строки в Таблице 3.1). Другая часть сетей явилась результатом обработки анкет (строки 5, 6 Таблицы 3.1). Эти сети образованы не просто коммуникационными связями, а связями определенного типа: дружбы и выбора для работы в одном проекте.

Согласно методике структурного анализа необходимо найти следующие показатели:

1. стандартные показатели (характеризуют сеть в целом)
  - размер ( $g, L$ );
  - плотность ( $\Delta$ );
2. показатели сплоченности:
  - коэффициент взаимности ( $K_M$ ),
  - коэффициент кластеризации ( $K_C$ ),
  - диаметр сети ( $D$ ).
3. показатели однородности сети:
  - среднеквадратичные отклонения основных показателей центральности ( $S_A$ );
  - индексов централизации по Фриману ( $C_A^F$ )

Стандартные показатели и показатели сплоченности исследуемых социальных сетей приведены в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные показатели социальных сетей академических групп

Сеть	Курс обуч.	Число студентов	Пол (м/ж)	Плотность группы ( $\Delta$ )	Диаметр	Коэф-т взаимности ( $K_M$ )	Коэф-т кластеризации ( $K_C$ )
34_гр	4	13	6/7	0,66	2	0,515	0,715
35_гр	4	17	9/8	0,809	2	0,719	0,822
44_гр	1	17	10/7	0,511	4	0,527	0,616
45_гр	1	30	15/15	0,201	4	0,336	0,371
201_др	4	10	7/3	0,289	4	0,2	0,542
201_пр	4	10	7/3	0,511	4	0,522	0,635

Сети сравнимы по размеру (хотя группа 45 больше остальных).

Как видно из Таблицы 3.1, коммуникационные сети групп 4 курса (первые две строки Таблицы 3.1) обладают большей плотностью. Это достаточно предсказуемо, т.к. эти коммуникационные сети существуют дольше, они более сплоченные, у них имеют меньший диаметр (более компактные) и у них выше коэффициент кластеризации.

Наиболее сплоченной можно считать 35 группу, т.к. она обладает самой высокой плотностью (0,809), максимальным (в рассматриваемом множестве сетей) коэффициентом взаимности (0,719) и коэффициентом кластеризации (0,822). Самые низкие показатели сплоченности у 45 группы.

Свойства взаимности и кластеризации можно рассматривать на уровне как всей группы в целом, так и на уровне отдельного актора. Если рассматривать отдельных акторов, то максимальными коэффициентами взаимности обладают в 34 группе (см. Приложение 2): Алена К. (0,875) и Андрей С. (0,875); в 35 групп - Анна Ш. (0,938); в 44 группе – Мария К. (0,818); в 45 группе – Ирина П. (0,875). Большинство связей (более 80%) связей этих студентов взаимны.

Интересна может быть информация о сплоченности соседств отдельных акторов в группах (о плотности их эго-сетей). В 34 группе наиболее связанное соседство имеет Вадим К. (0,819), в группе 35 – Евгений С. – 0,894, в 44 группе – Антон С., в 45 группе – Богдан С. (здесь имеем несколько вырожденный случай, т.к. соседство его крайне небольшое, 3 актора, но все они связаны между собой) и Алина Т. (0,833 – аналогичная ситуация).

Результаты расчетов по однородности и централизации групп приведены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Групповые показатели центральности и однородности

Сеть	Групповой индекс центральности по степени (%)	Групповой индекс вход.центральн. по степени (%)	Групповой индекс центральности по посредничеству (%)	Средние вых центральность и по степени и (норм)	Стандарт. отклонение	Среднее вход центральности по степени (норм)	Станд. отклонение
1	2	3	4	5	6	7	8
34_гр.	36,8	18,75	6,83	0,66	0,365	0,66	0,101
35_гр.	20,31	20,31	1,33	0,809	0,179	0,809	0,12
44_гр.	32,03	25,39	6,35	0,511	0,261	0,511	0,194
45_гр.	50,5	18,4	6,25	0,201	0,201	0,201	0,081

Групповые показатели централизации по Фриману (столбцы 2, 3, 4 Таблицы 3.2) свидетельствуют о том, что группы имеют слабую централизацию, т.е. их топологии отличны от топологии «звезда».

Если рассматривать такую характеристику групп как однородность ее членов по показателям центральности, то наиболее однородной можно считать 35 группу, затем близки по характеристикам однородности 34 и 44 группы, 45 группу можно признать самой неоднородной.

Рассмотрим индивидуальные показатели центральности [31]. Входная центральность по степени узла (существует только для направленных сетей) трактуется как престиж актора (узла), а выходная – как экспансивность (или потребность в коммуникациях).

Актеры, обладающие наибольшим престижем в своих группах (те, кого называют «звездами»), это:

- в 34 группе: Фируз Н. (0,833), Кира И. (0,750), Виктор Н. (0,750), Юлия О. (0,750), Софья С. (0,750) – их нормированные показатели входной центральности по степени больше среднего значения в группе (равного 0,66);

- в 35 группе: Игорь З. (1,0), Дарья Л. (0,938), Дарья П. (0,938), Алексей Ч., (0,938), Анна Ш. (0,938);
- в 44 группе: Лев А. (0,688), Наталья Б.(0,688), Дарья В. (0,688), Никита М. (0,688);
- в 45 группе: Михаил О. (0,379), Ирина Я. (0,379).

По приведенному перечню престижных членов разных групп и их показателей входной центральности по степени хорошо видно, как меняется численное значение самого показателя престижности, достигающее своего максимума в группе 35 и минимума в группе 45.

Актеры, обладающие максимальными показателями экспансивности:

- группа 34: Евгений К. (1,0), Денис М. (1,0), Виктор Н. (1,0), Юлия О. (1,0), Анна П. (1,0);
- группа 35: Юлия П. (1,0), Александр С. (1,0), Леонид С. (1,0), Ольга С. (1,0), Анна Ш. (1,0);
- группа 44: Наталья Б. (0,813), Анастасия М.(0,813);
- группа 45: Анастасия Л.(0,69), Герман Н.(0,586).

В исследуемых группах полных изолянтов (по входу и выходу) нет, нет и тех, кого классифицируют как «передатчики» (нет входных дуг), и почти в каждой группе есть «приемники» (нет выходных дуг). В 34 и 44 группах по одному актору этого типа, а в 45 – 11 человек.

В данном исследовании рассматриваются сети коммуникаций, поэтому интерес представляют те акторы, которые наиболее эффективны в коммуникациях благодаря своим структурным позициям. Как было показано, мерой такой эффективности (скорости коммуникации) может служить показатель центральности по близости (далее будет предложен еще один показатель). При этом существует определенное допущение: данный показатель считается в предположении, что коммуникация протекает по геодезическим путям, но даже, если коммуникации происходит, по всем возможным маршрутам (некоторая широковещательная передача), то с большей вероятностью она произойдет быстрее там, где есть более короткие пути (которые тоже будут задействованы).

Сравнивая индивидуальные показатели входной центральности по близости, можно предположить, что наиболее быстро получают информацию в группах:

- в группе 34: Виктория Н.(0,706), Софья С.(0,706);
- в группе 35: Игорь З. (1,0), Дарья Л.(0,938), Дарья Ш. (0,938), Анна Ш. .(0,938);
- в группе 44: Павел Н. (0,696), Никита М. (0,667), Анастасия М.(0,667), Михаил П.(0,667);
- в группе 45: Андрей К. (0,667), Христина Ф. (0,667).

Сравнивая индивидуальные показатели выходной центральности по близости, можно предположить, что наиболее быстро передадут информацию в группе всем остальным:

- в группе 34: Евгений К. (1,0), Денис М. (1,0), Виктория Н. (1,0), Юлия О. (1,0), Анна П. (1,0);
- в группе 35: Юлия П. (1,0), Александр С. (1,0), Леонид С. (1,0), Ольга С., Анна Ш. (1,0);
- в группе 44: Анастасия М. (0, 762), Наталья Б. (0,727);
- в группе 45: Владимир В. (0,783), Анастасия Л. (0,720).

Для эффективного распространения информации нужно обладать высокой и приемной и передающей составляющей. Акторами, обладающими обеими этими характеристиками, можно считать: Викторию Н. (в 34 группе), Анну Ш. (в 35 группе), Анастасию М. (в 44 группе) и Христину Ф. (в 45 группе).

Лучшие «посредники» в группах:

- в 34 группе: Юлия О. (9,048);
- в 35 группе: Дарья П.(2,528), Анна Ш.(2,378);
- в 44 группе: Анастасия М.(10,471);
- в 45 группе: Анастасия Л.(7,778), Герман Н.(7,917), Марина К.(7,324).

В результате структурного анализа сети по разработанной методике можно сделать следующие выводы:

1. Все группы можно отнести к малым группам, они сравнимы по размерности. Несколько выделяется группа 45 с большим, чем у других количеством акторов.

Группы 4 курса обучения более плотные (значение плотности почти в 3 раза выше, чем в группах 1 курса обучения).

2. По показателям сплоченности: группы 4 курса имеют сходные показатели сплоченности, выше, чем в группах первого курса обучения, например, диаметр сетей групп 4 курса в 2 раза меньше, чем в группах 1 курса. В группах нет изолянтов.

3. По показателям однородности группы всех курсов обучения особенно не различаются между собой. Коэффициент централизации Фримана свидетельствует о том, что группы не имеют единого центра, т.е. их топология отличается от звездной. Небольшие значения стандартных отклонений по показателям центральности по степени свидетельствуют о достаточной однородности групп.

4. Можно предположить, что более сплоченная группа, в которой большинство связей взаимны, и которая более однородна по составу, будет воспроизводить сложившиеся коммуникационные связи, т.е. можно сделать вывод о том, что такая группа будет обладать свойством аутопоэза. Численно уровень аутопоэза выразить не представляется возможным, но можно говорить о сравнительном анализе: группы 4 курса обладают аутопоэзом в большей степени, чем группы 1 курса. Следует отметить, что худшими характеристиками обладает 45 группа, что, очевидно, связано с ее большим размером.

### **3.1.2 Визуализация исследуемых сетей. Построение социографов**

Для 34 группы социографы (орграфы) построены в различных графических средах. Эти социографы представлены на Рисунках 3.1, 3.2, 3.3.

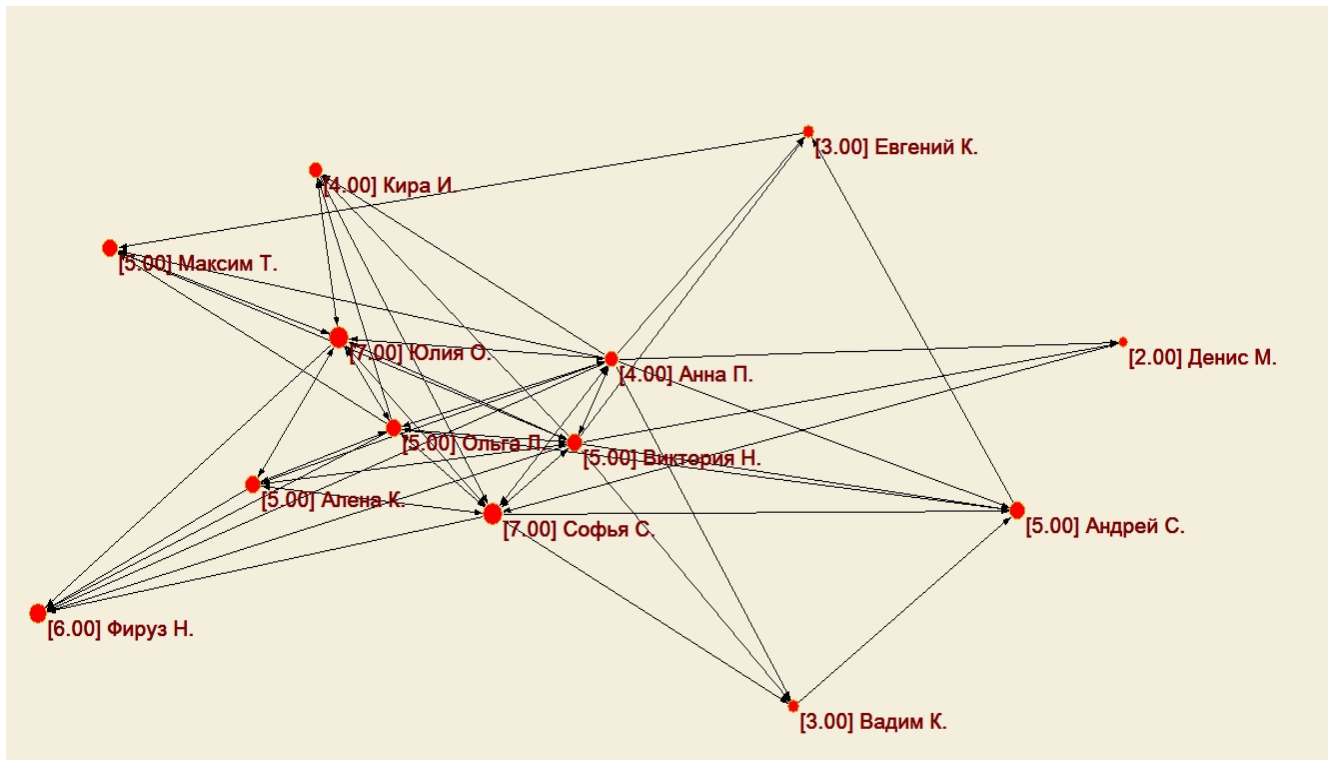


Рисунок 3.1 – Социограф 34 группы, созданный в программе Rajeck (показаны значения входных центральностей узлов)

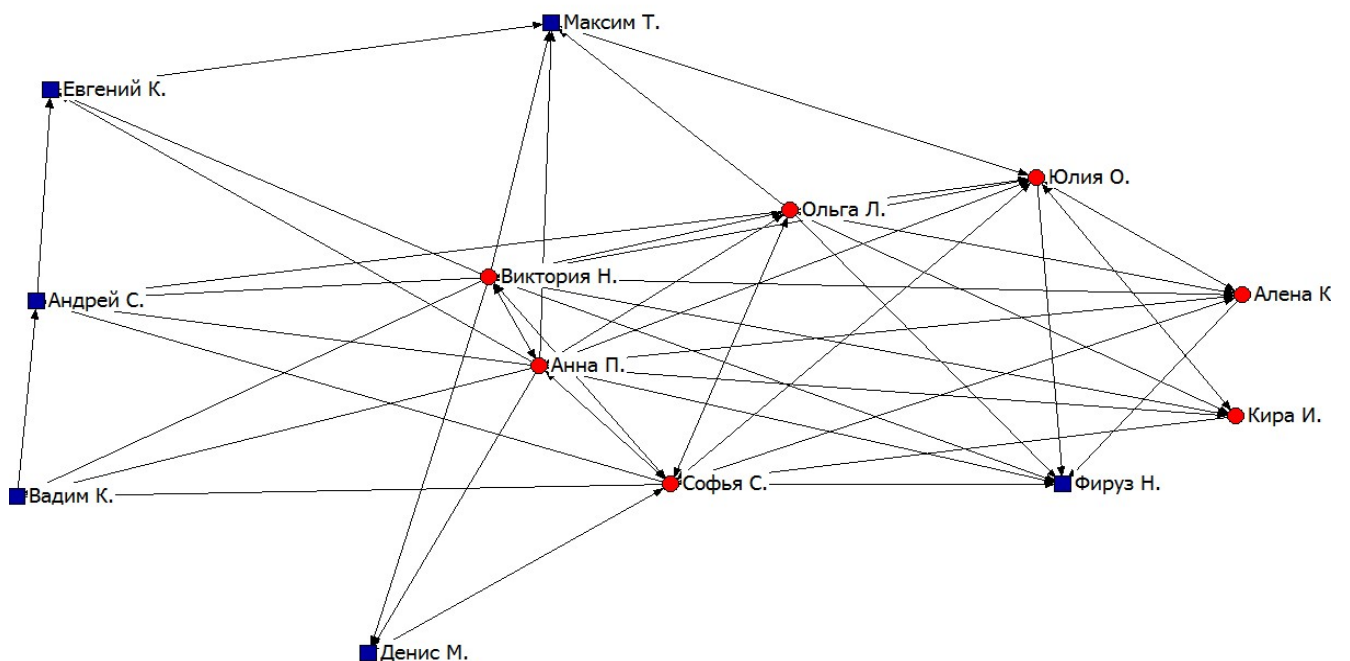


Рисунок 3.2 – Социограф 34 группы, созданный программой NetDraw 2.152, встроенной в среду UCINET 6.0 for Windows.



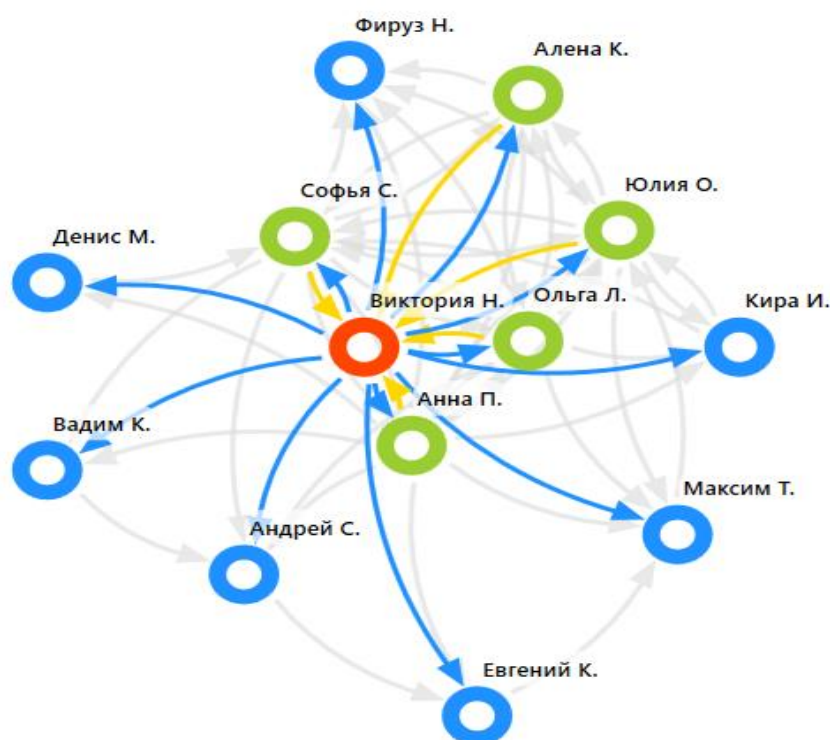


Рисунок 3.3 – Социограф 34 группы, созданный в собственном ПО

### 3.1.3 Соответствие исследуемых социальных сетей моделям структурного баланса

В п. 2.3.1 описаны теории и модели структурного баланса и триадный перечень как характеристика, являющаяся информационной основой для проведения анализа на соответствие теориям структурного баланса [207].

Для получения триадных перечней сетей была использована среда PaJek. Триадный перечень был получен и для случайных графов (сетей) той же размерности и плотности с целью проведения дальнейшего статистического анализа на наличие статистически значимых различий между триадным перечнем реальной сети и случайных сетей.

Вычисления были произведены для социальных сетей академических групп 34, 35 и 44. Было проведено также дополнительное исследование, в которой информационной основой стали сети тех же групп, но сформированные из повторяющихся (условно считаемых «укорененными») связей. Укорененными считались те связи, которые повторялись в группах 34 и 35 более 3 раз за период

исследования, в группе 44, которая имеет меньшую плотность сети, были не однократными.

Триадные перечни для реальных социальных сетей и соответствующих случайных сетей приведены в Табл. 3.3, также можно увидеть их соответствие моделям структурного баланса.

Таблица 3.3 – Триадные перечни сетей и их соответствие моделям структурного баланса

Группа	Тип триады	Исходная сеть		Сеть укорененными связями		Модель (теория)
		Реальн.	Случ.	Реальн	Случ.	
34	102 (3)	21	18,04	52	17,5	Теория когнитивного баланса
	300 (16)	16	1,02	13	0,09	
	003 (1)	41	14,59	106	45,9	Модель кластеров
	021D (4)	50	18,04	36	17,5	Модель ранжированных кластеров
	021U (3)	3	18,04	0	17,5	
	030T (9)	8	23,07	1	12,48	
	120D (12)	0	7,44	1	2,22	
	120U(13)	31	7,44	11	2,22	
	012 (2)	45	56,20	32	98,18	Модель транзитивности
	021C (6)	10	36,08	0	35	Запрещенные триады
	111D (7)	5	23,17	0	12,48	
	111U (8)	36	23,17	28	12,48	
	030C (10)	0	7,72	0	4,16	
	201 (11)	4	7,44	0	2,22	
35	102 (3)	11	1,78	100	44,14	Теория когнитивного баланса
	300 (16)	227	190,38	12	0,51	
	003 (1)	0	0,03	141	79	Модель кластеров
	021D (4)	5	1,78	58	44,14	Модель ранжированных кластеров
	021U (3)	4	1,78	13	38,1	
	030T (9)	9	15,08	13	38,10	
	120D (12)	33	31,91	1	8,22	
	120U(13)	55	31,91	28	8,22	
	012 (2)	2	0,84	167	204,56	Модель транзитивности
	021C (6)	1	3,57	10	88,29	Запрещенные триады
	111D (7)	15	15,08	17	38,10	
	111U (8)	29	15,08	76	38,10	
	030C (10)	1	5,03	0	12,7	
	201 (11)	40	31,91	24	8,22	

Продолжение Таблицы 3.3

44	102 (3)	72	30,45	52	12,47	Теория когнитивного баланса
	300 (16)	62	12,11	0	0	
	003 (1)	40	9,29	418	372,14	Модель кластеров
	021D (4)	23	30,45	7	12,47	Модель ранжированных кластеров
	021U (3)	22	30,45	6	12,47	
	030T (9)	24	63,66	1	2,64	
	120D (12)	12	33,26	1	0,14	
	120U(13)	54	33,26	1	0,14	
	012 (2)	86	58,28	162	235,99	Модель транзитивности
	021C (6)	20	60,91	14	24,94	Запрещенные триады
	111D (7)	49	63,66	2	2,64	
	111U (8)	72	63,66	12	2,64	
	030C (10)	1	21,22	0	0,88	
	201 (11)	53	33,26	2	0,14	

Из Таблицы 3.3 видно, что структурные характеристики групп хорошо согласуются с теориями структурного баланса, причем при учете только повторяющихся связей такая согласованность только усиливается. Это становится очевидным при рассмотрении запрещенных триад, число которых значительно меньше в социальных сетях, чем в соответствующих случайных сетях (Таблица 3.4).

Таблица 3.3 – Наличие запрещенных триад в структуре социальных сетей

Социальная сеть	% запрещенных триад	
	Реальн. сеть	Случ. сеть
34 группа (исходная сеть)	19,23	34,12
34 группа (с укоренен. связями)	9,79	23,20
35 группа (исходная сеть)	12,65	13,39
35 группа (с укоренен. связями)	18,68	27,27
44 группа (исходная сеть)	28,68	35,69
44 группа (с укоренен. связями)	4,41	4,59

Данные Таблицы 3.3 свидетельствуют о том, что реальные триадные перечни групп отличаются от триадных перечней случайных сетей той же размерности и плотности, и различия эти статистически значимы. Для доказательства этого воспользуемся критерием  $\chi^2$ .

Нулевая гипотеза в таком случае будет состоять в том, что различия между перечнями нет. Докажем, что она не верна.

В Таблице 3.5 показаны вычисленные значения  $\chi^2$  для триадных перечней групп. Расчетное количество степеней свободы равно 15 (число столбцов в таблицах 2, число строк 16:  $\nu=(16-1) \cdot (2-1)$ ). Критическое значение критерия  $\chi^2$  при уровне значимости 0,01 равно 30,578.

Таблица 3.5 – Значения  $\chi^2$  для триадных перечней социальных групп

Группа	Значение $\chi^2$	% ожидаем. знач. меньше 5	Мин. ожидаем знач.
34 группа (исход)	<b>542,7657</b>	<b>6,25</b>	<b>1,02</b>
34 группа (укорененные связи)	269,3540	43,5	0,09
35 группа (исходная)	<b>487,4135</b>	<b>6,25</b>	<b>1,01</b>
35 группа (укорененные связи)	2131, 1371	37,5	0,03
44 группа (исход)	140,6694	37,5	0,00
44 группа (укорененные связи)	<b>677,8640</b>	<b>6,25</b>	<b>9,29</b>

Все расчетные значения  $\chi^2$ , приведенные в таблице, больше критического значения, значит, нулевую гипотезу об отсутствии различий триадных перечней для реальных и случайных сетей следует отвергнуть, но только выделенные результаты можно считать статистически значимыми, т.к. существует правило, что критерий  $\chi^2$  применим, если все ожидаемые числа не меньше 1 и доля клеток с ожидаемыми числами меньше 5 не превышает 20%. В ряде случаев это условие не выполняется.

### 3.1.4 Коммуникационная эффективность социальной сети и ее отдельных узлов

В разделе 2.2.3 в качестве основного показателя, оценивающего сеть с точки зрения ее коммуникационной способности, предложено использовать показатель коммуникационной эффективности сети. Такие показатели были рассчитаны для всех исследуемых сетей, результаты представлены в Таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Показатели коммуникационной эффективности сетей

Группа	Группа 34	Группа 35	Группа 44	Группа45
Значение показателя коммун. эффективности	0,811	0,904	0,727	0,475

Хорошо видно, что худший показатель коммуникационной эффективности в группе 45. Кроме того, в этой группе есть пары акторов, между которыми не существует пути, поэтому при расчете коммуникационной эффективности пришлось применить способ, предложенный для расчета центральности по близости: если нет пути от данного актора до других акторов в сети, то длина такого пути при расчетах устанавливается равной максимальному расстоянию между акторами в сети плюс 1. В стандартных инструментах такой параметр не вычисляется, поэтому расчет был произведен в Excel на основе матрицы геодезических расстояний между акторами, полученной в UCINET 6.0.

Для оценки коммуникационной эффективности отдельного актора предлагается следующий алгоритм:

1. Вычислить коммуникационную эффективность сети (при наличии всех акторов в сети);
2. Удалить исследуемого актора из сети вместе со всеми его связями с другими акторами;
3. Измерить коммуникационную эффективность полученной сети;

По изменению коммуникационной эффективности сети можно судить о «коммуникационном вкладе» каждого актора.

На Рисунках 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 представлены графики зависимости коммуникационной эффективности сети от участия отдельных акторов в сети. Красным цветом показан уровень коммуникационной эффективности сети при наличии всех акторов.

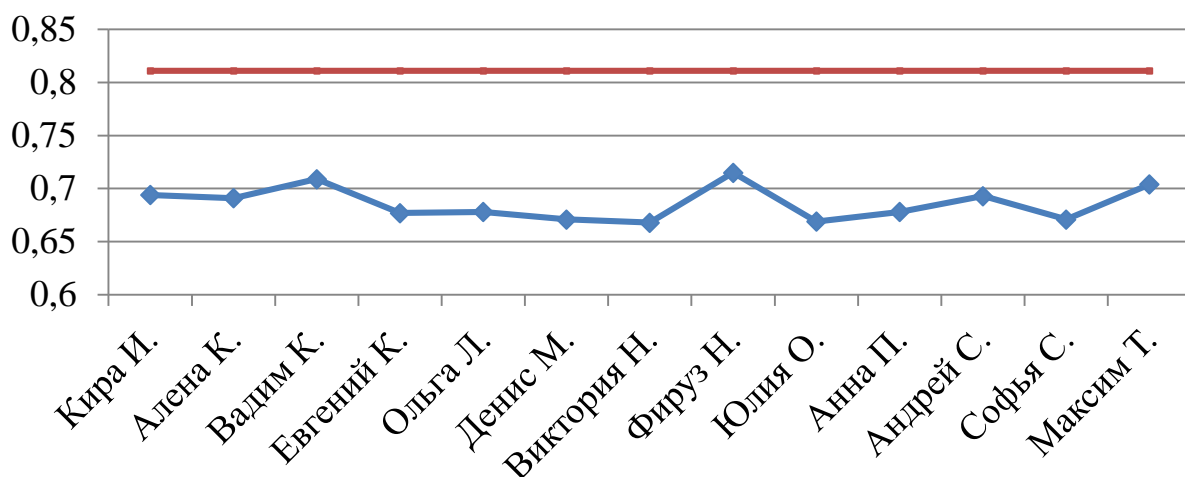


Рисунок 3.4 – График зависимости коммуникационной активности в сети от участия отдельных акторов в сети для группы 34

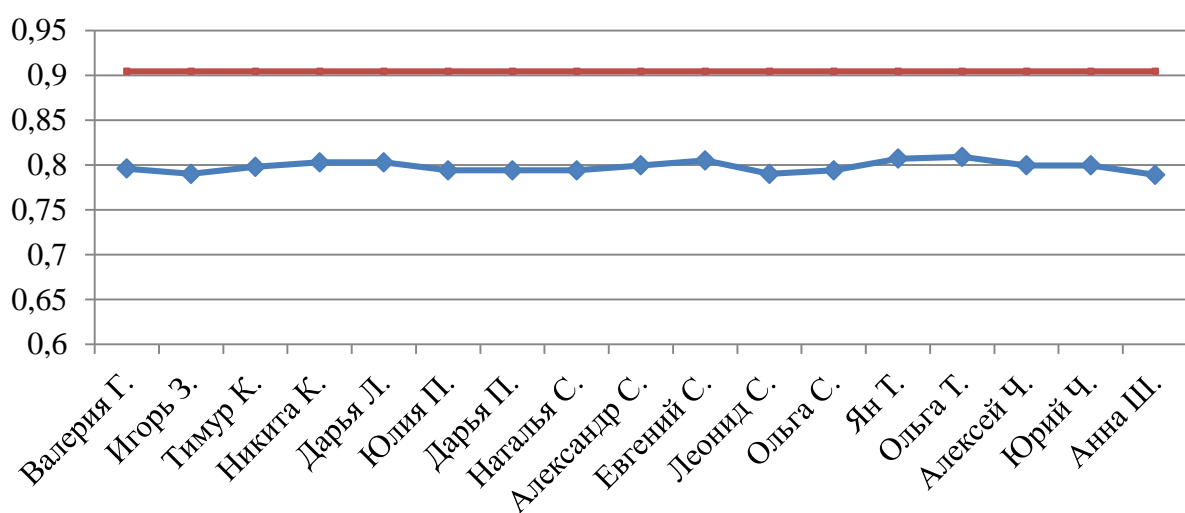


Рисунок 3.5 – График зависимости коммуникационной активности в сети от участия отдельных акторов в сети для группы 35

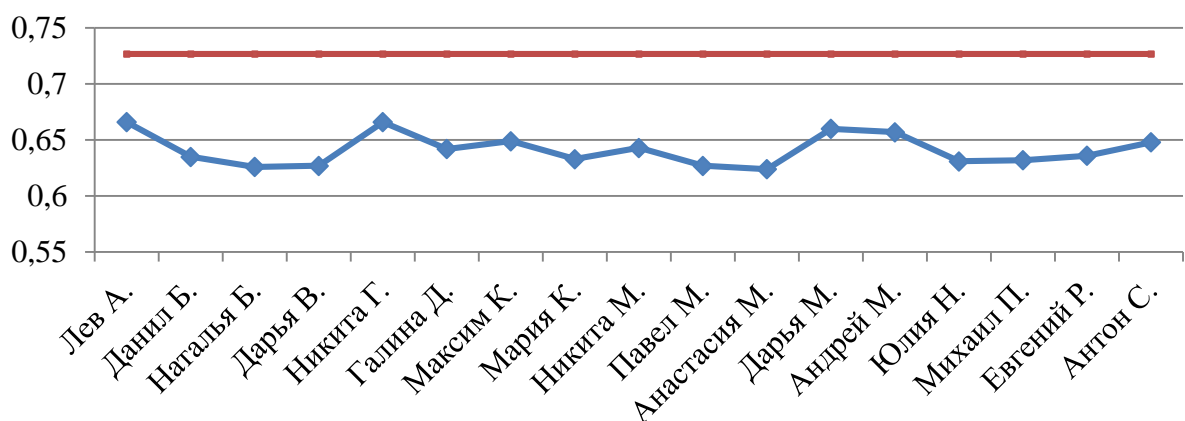


Рисунок 3.6 – График зависимости коммуникационной активности в сети от участия отдельных акторов в сети для группы 44

Получены следующие результаты: для группы 34 наиболее критичными акторами, влияющими на коммуникационную эффективность являются: Денис М., Виктория Н., Юлия О., Софья С.; для группы 35 - Игорь З., Леонид С. и Анна Ш.; для группы 44 - Наталья Б., Дарья В., Павел М., Анастасия М.; для группы 45 - Владимир В., Анастасия Л., Христина Ф.

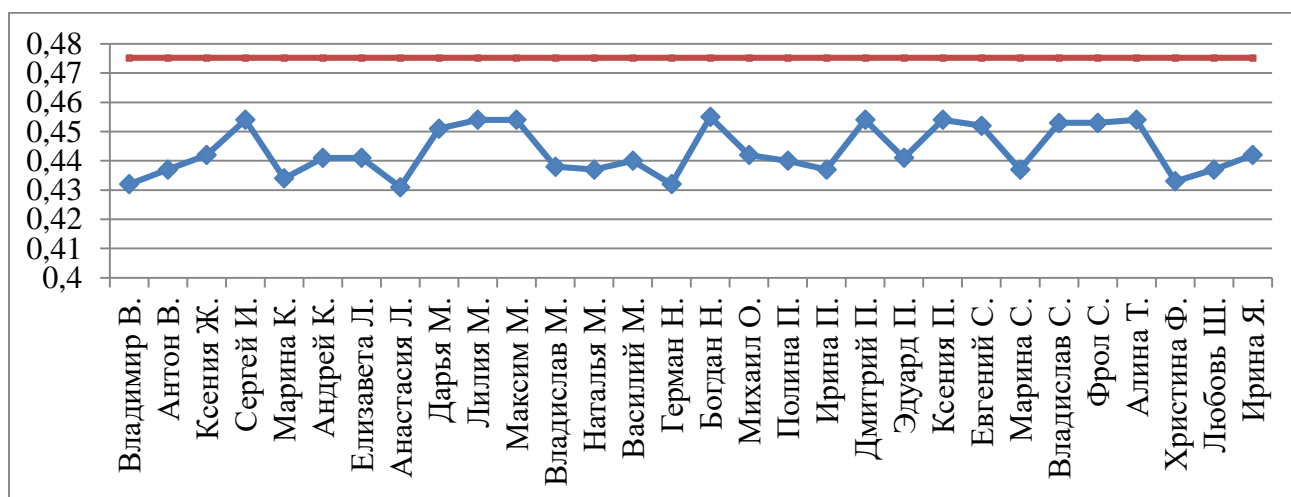


Рисунок 3.7 – График зависимости коммуникационной активности в сети от участия отдельных акторов в сети для группы 45

По графику (Рисунок 3.4) можно увидеть, что в группе 34 все акторы имеют практически одинаковые коммуникационные способности, одинаково влияя на коммуникативную эффективность сети, что дополнительно свидетельствует об однородности данной группы.

Эти результаты сходны с теми, что были получены в результате анализа по входной и выходной центральности по близости в группах. Этот способ позволяет выявить более широкий круг лиц (и подтвердить это численно), влияющих на коммуникации в сети.

## 3.2 Структурный анализ сетей экономических коммуникаций

### 3.2.1 Особенности структур экономических сетей

Основные структурные показатели исследуемых экономических сетей, разделенные на 2 группы – производственных сетей и сетей сообществ, приведены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Основные характеристики экономических сетей

Параметр	Сети сообществ			Производственные сети	
	Игра в Уфе 17_10 (1)	Игра в Уфе 22_10 (2)	Игра в Москве (3)	Муниципалитет	Проект
Размер сети	10	11	17	12	8
Число связей	56	29	50	28	19
Плотность	0,622	0,264	0,184	0,212	0,339
Общая сумма сделок/ платежей (руб.)	438 000	80 000	576 000	306 200 000	2 484 599
Средняя стоимость сделки (руб.)	7 821,43	2 758,62	11 520	10 935 714	130 768
Число различных товаров в сети	42	29	44	14	8
Ассортимент товаров	4,2	2,63	2,58	1,17	1

Ассортимент товаров считается как число различных товаров (или услуг) в сети, приходящееся на один узел сети.

Все рассматриваемые сети сравнимы по размерности и плотности (исключением можно считать только сеть сообщества 1, плотность которой выше других, такая высокая плотность отражает частые коммуникации между агентами в эксперименте).

Можно выявить следующие различия между производственными сетями и сетями сообществ:

- общее число сделок (производственные сети демонстрируют более высокие показатели);
- число товаров и услуг, производимых и потребляемых в сетях сообществ, в два и более раз превосходят такие же показатели в производственных сетях;
- ассортимент продуктов сети (считается на одного агента) также в два раза больше в сетях сообществ;
- средняя стоимость сделки в сети сообщества, по крайней мере, в 10 раз ниже, чем в производственной сети [29].



Эти явные различия являются отражением природы сети: наибольшее число транзакций в производственных сетях локализованы в сегменте В2В, в то время как в сетях сообществ преобладают коммуникации типа В2С. Поэтому каждый из агентов производственной сети старается производить большой объем товара небольшого ассортимента для того, чтобы снизить производственные затраты. И наоборот, агент сети сообщества заинтересован в производстве широкого ассортимента товаров, чтобы удовлетворить потребности сообщества. Следует иметь в виду, что один и тот же агент сети сообщества одновременно может быть и производителем, и конечным потребителем товаров.

Рассмотрим основные сетевые параметры, к которым отнесем: количество узлов (акторов) и ребер, плотность, диаметр, коэффициент кластеризации, коэффициент транзитивности и групповые индексы централизации по Фриману. Первые три из них уже обсуждались и были приведены в Таблице 3.7.

Основная идея исследования состоит в том, чтобы сравнить сети рассмотренных двух типов между собой и с сетью, основанной на случайном графе Бернулли (той же размерности и плотности), чтобы выявить различия, и на основе этого определить особенности структуры предпринимательских сетей.

Исследование проводилось по следующей методике:

- вычисление параметров экспериментальных сетей;
- генерация случайных графов Бернулли той же размерности и плотности;
- вычисление параметров для графов Бернулли;
- сравнение экспериментальной сети и соответствующего ей графа Бернулли, расчет величины относительного отклонения;
- сравнение значений относительных отклонений для множества сетей сообществ и для множества производственных сетей отдельно и вычисление среднего значения относительного отклонения для каждого из типов сетей;
- сравнение найденных средних значений между собой.

Относительное отклонение (RD) считается по формуле:

$$RD = \frac{|V - BV|}{BV} \quad (3.1)$$

где  $V$  – значение параметра экспериментальной сети,  $BV$  – соответствующее значение для случайного графа Бернулли.

Вычисленные показатели сетей сообществ (абсолютные значения  $V$  и относительные отклонения  $RD$ ) представлены в Таблице 3.8. Можно заметить, что сеть сообщества 1 отличается от двух других сетей сообществ значительней, чем те различаются между собой. Наиболее близка к случайному графу Бернулли сеть сообщества 3, относительное отклонение не превышает 17% для всех расчетных параметров, а для большинства из них лежит в интервале от 2 до 13%. Сеть сообщества 1 имеет наибольшее расхождение со случайным графом по групповым индексам центральности: отклонения имеют значения 44% и больше. Суммируя результаты сравнения, необходимо отметить, что графы сетей сообществ и случайные графы значительно различаются по своим характеристикам.

Таблица 3.8 – Структурные показатели сетей сообществ

Показатели	Сообщество 1		Сообщество 2		Сообщество 3	
	$V$	$RD$	$V$	$RD$	$V$	$RD$
Диаметр	2	0,33	4	0,2	5	0,17
Коэф-т взаимности	0,47	0,23	0,07	0,46	0,16	0,02
Коэф-т транзитивности	0,61	0,06	0,23	0	0,14	0,12
Коэф-т кластеризации	0,64	0,07	0,28	0,52	0,23	0,07
Групповой индекс вх. центральности по степени	0,71	0,46	0,26	0,13	0,20	0,13
Групповой индекс вых. центральности по степени	0,17	0,46	0,15	0,21	0,20	0,13
Групповой индекс центральности по посредничеству	0,03	0,70	0,15	0,44	0,17	0,15

Подобное сравнение параметров, вычисленных для производственных сетей, приведено в Таблице 3.9. Сети этого типа кажутся более схожими между собой, чем рассмотренные выше. В то же время они очень сильно отличаются от случайных графов Бернулли – относительные отклонения превышают 50%, а для большинства групповых индексов центральности и взаимности равны 100 и более процентам.

Таблица 3.9 – Структурные показатели производственных сетей

Показатели	Производственная сеть 1		Производственная сеть 2	
	$V$	$RD$	$V$	$RD$
Диаметр	4	0,33	3	0
Коэф-т взаимности	0,33	0,99	0,46	2,92
Коэф-т транзитивности	0,15	0,52	0,30	0,38
Коэф-т кластеризации	0,52	0,53	0,60	0,40
Групповой индекс центральности по степени вх.	0,46	0,27	0,59	0,38
Групповой индекс центральности по степени вых.	0,86	4,2	0,76	1,85
Групповой индекс центральности по посредничеству	0,77	2,2	0,83	6,4

Абсолютные значения сетевых параметров и их относительные отклонения от параметров случайных графов Бернулли (Таблицы 3.7 и 3.8) были усреднены для качественного сравнения двух исследуемых наборов (Таблиц 3.10). Сетевые параметры и параметры случайных графов отличаются более чем на 22% (за редким исключением) [103].

Таблица 3.10 – Средние значения показателей сетей сообществ и производственных сетей

Показатели	Средние значения показателей			
	Сети сообществ		Производственные сети	
	$V$	$RD$	$V$	$RD$
Диаметр	3,7	0,23	4	0,17
Коэф-т взаимности	0,24	0,24	0,40	1,9
Коэф-т транзитивности	0,33	0,06	0,22	0,45
Коэф-т кластеризации	0,38	0,22	0,56	0,47
Групповой индекс центральности по степени вх.	0,21	0,24	0,53	0,33
Групповой индекс центральности по степени вых.	0,18	0,27	0,81	3,1
Групповой индекс центральности по посредничеству	0,12	0,43	0,79	4,3

Можно сделать вывод о существовании фундаментальных различий между сетями исследуемых типов: сети сообществ ближе по своим характеристикам к случайным графам Бернулли, чем производственные сети. Это становится абсолютно очевидным после сравнения усредненных значений RD для сетей обоих типов. Причина этого заключается в том, что природа сетей различна: производственные сети больше обусловлены цепочками поставок ресурсов, их способность менять поставщиков и потребителей крайне ограничена, в то время как сети сообществ обладают большей гибкостью.

Методика структурного анализа социальных сетей, примененная для изучения экономических сетей, позволяет получать достаточно интересные результаты.

### 3.2.2 Структурный анализ сети экономических коммуникаций агентов муниципалитета

Модель внутреннего рынка муниципальной сети описана в п. 2.5.3. В модели действуют 12 агентов: 11 обычных производственных и один агент-население.

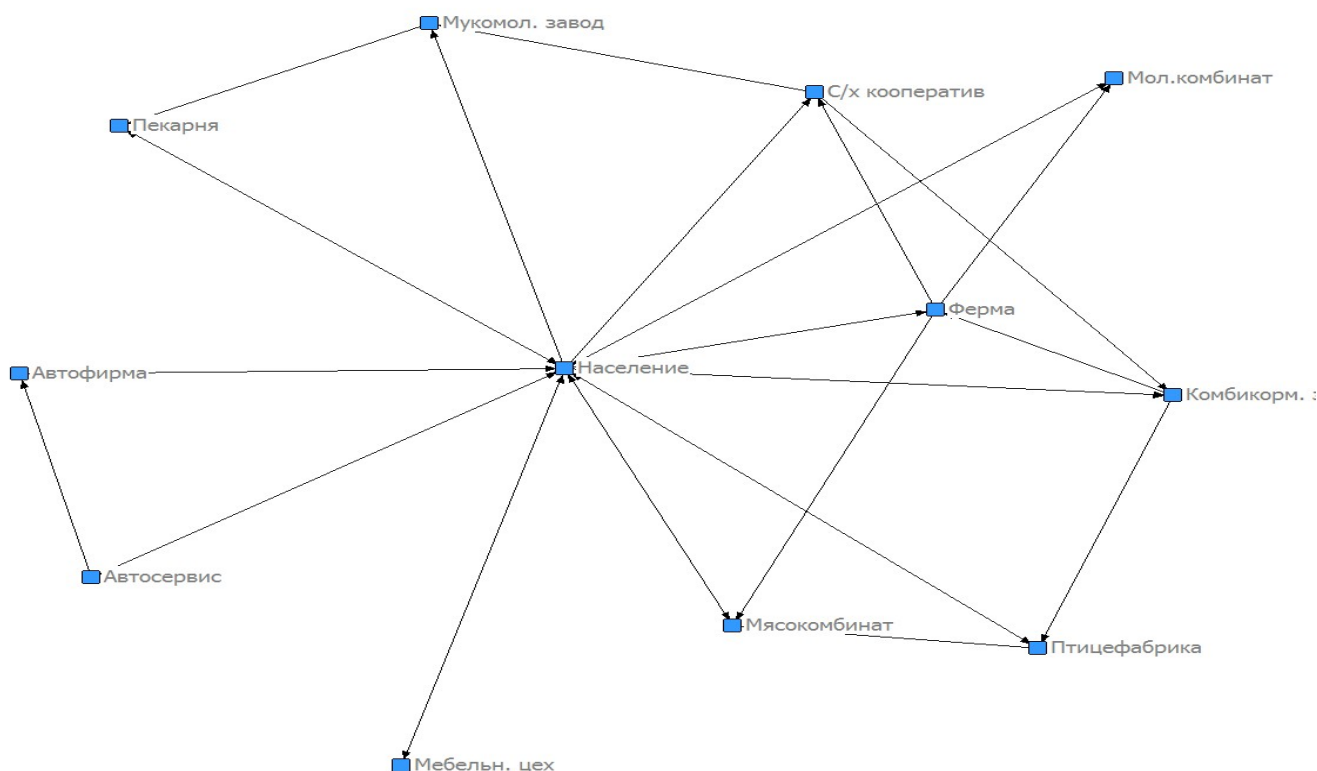


Рисунок 3.8 – Социограф муниципальной сети

По социографу видно, что топология данной сети близка к звезде. Причем на графе можно обнаружить две «звезды»: центром одной из них является население, центром второй звезды является ферма. Данное муниципальное образование сельскохозяйственного типа, поэтому ферма ожидаемо в центре звездной топологии. Это же подтверждается большинством расчетных параметров (групповые индексы центральности в Таблице 3.11).

На Рис. 3.8 приведен социограф муниципальной сети.

Основные показатели экономической сети представлены в Таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Основные показатели экономической сети

Размер сети	$\Delta$	D	$K_M$	$K_C$	$E_C$	$C_A^F$ (вых.)	$C_A^F$ (вх.)
12	0,212	4	0,333	0,517	0,572	0,86	0,46

Плотность данной сети достаточно маленькая, хотя и сравнимая с плотностью академических групп первого курса. Плотность экономических сетей обычно не высокая, т.к. у производителей ограниченное число поставщиков, определяемых технологией производства.

Взаимных поставок одна третья часть от общего числа всех поставок (коэффициент взаимности 0,333); и в среднем половина тех, кто связан с каким-либо производителем, связаны между собой.

Обратимся к показателям центральности, которые имеют узлы. Они приведены в Таблице 3.12.

Таблица 3.12– Показатели центральности узлов сети муниципалитета

Узел	Центр. по степени (выход)	Центр. по степени (вход)	Центр. по близости (выход)	Центр. по близости (вход)	Центр. по посред. (%)	Власть по Бонакичу
Сельхоз. кооператив	0,182	0,182	0,379	0,524	2,879	0,896
Ферма	0,273	0,182	0,458	0,524	4,091	0,896
Птицефабрика	0,182	0,182	0,550	0,500	7,727	0,896
Мясокомбинат	0,091	0,273	0,524	0,524	2,424	1,184
Молочный комбинат	0,091	0,182	0,524	0,500	2,424	0,896
Пекарня	0,091	0,182	0,524	0,500	10,909	0,896

Продолжение Таблицы 3.12

Мукомольный завод	0,091	0,182	0,367	0,524	3,030	0,896
Комбикормовый завод	0,182	0,182	0,440	0,524	5,758	0,896
Мебельный цех	0,091	0,091	0,524	0,423	0,000	0,608
Автосервис	0,182	0,091	0,550	0,423	0,000	0,608
Автофирма	0,091	0,182	0,524	0,440	0,000	0,804
Население	1,000	0,636	1,000	0,688	80,758	1,896

Как очевидно из Табл. 3.12 самые высокие показатели центральности у узла «Население», т.к. именно этот узел является поставщиком рабочей силы для всех остальных узлов (выходная центральность по степени) и одновременно потребителем услуг почти всех остальных акторов (кроме сельскохозяйственного кооператива, фермы, мукомольного завода и комбикормового завода, т.к. они ничем в данной модели не торгуют напрямую с населением), что отражает входная центральность по степени. Население же является лучшим посредником и ближе всех расположенным узлом ко всем остальным узлам сети. Власть по Бонакичу у данного узла также максимальная.

Для сети муниципалитета был получен триадный перечень, как и для социальной сети, а также триадный перечень соответствующей случайной сети (Таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Соответствие триадных перечней сетей муниципалитета и случайной сети той же плотности и размерности моделям структурного баланса

Тип триады	Количество триад		Модель
	В реальной сети	В случайной сети	
102(3)	0	11,44	Когнитивного баланса
300 (16)	0	0,02	
003 (1)	89	52,62	Кластеров
021D (4)	7	11,44	Ранжированных кластеров
021U (5)	1	11,44	
030T (9)	4	6,16	
120D (12)	0	0,83	
120U(13)	0	0,83	

Продолжение Таблицы 3.13

Тип триады	Количество триад		Модель
	В реальной сети	В случайной сети	
012 (2)	63	85,01	Транзитивная
021C(6)	6	22,89	Запрещенные триады
111D(7)	0	6,16	
111U(8)	24	6,16	
030C(10)	1	2,05	
201(11)	19	0,83	

Соответствия какой-либо из моделей не наблюдается.

На Рисунке 3.9 можно увидеть распределение триад в триадных перечнях сети муниципалитета и соответствующей ей случайной сети.

Для триадного перечня данной экономической сети характерно:

- Повышенное количество пустых триад (тип 003) и меньшее по сравнению со случайным графом количество триад, имеющих одну асимметричную связь в своем составе (тип 012);
- Повышенные количества триад типа 111U и 201, которые Бёрт характеризовал как структурные дыры; небольшие «пики» для такого типа триад были отмечены и для сетей социальных групп.

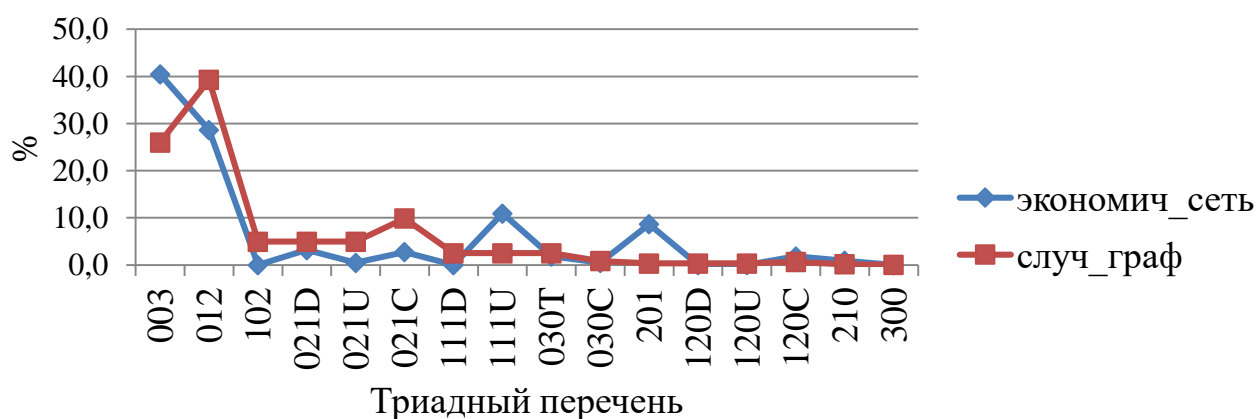


Рисунок 3.9 – Распределение триад в триадных перечнях сети муниципалитета и случайной сети той же плотности и размерности

Для нахождения циклических паттернов в сети была использована программа, выявляющая циклические паттерны в сети (описана в п.2.3.2) . В Табл.

3.14 показаны все циклические контуры, обнаруженные в сети муниципалитета [104].

Таблица 3.14 – Циклические контуры обменов в муниципальной производственной сети

Размерность цикла			
3 вершины	4 вершины	5 вершин	6 вершин
12-2-4-12	1-7-6-12-1	1-7-6-12-2-1	1-7-6-12-8-2-1
12-3-4-12	12-8-2-4-12	1-8-2-4-12-1	1-8-3-4-12-2-1
7-6-12-7	12-8-2-5-12	1-8-2-5-12-1	
12-8-3-12	12-8-3-4-12	1-8-3-4-12-1	
1-8-2-1	1-8-3-12-1	1-8-3-12-2-1	
12-10-11-12			
12-2-5-12			

### 3.2.3 Особенности применения моделей структурного баланса для экономических сетей

Как и для социальных сетей (ранее в этой главе) для экономических сетей: проекта летнего лагеря и деловых игр были проверено соответствие их структуры теориям структурного баланса. Результаты приведены в Таблице 3.15. При этом в соседних столбцах содержится количество триад разных типов для исследуемых сетей и сетей случайных графов той же плотности и размерности.

Таблица 3.15 - Соответствие триадных перечней экономических сетей моделям структурного баланса

Тип триады	Игра в Екатеринбурге		Игра в Уфе		Игра в Москве		Проект лагеря		Модель
	Реал.	Случ	Реал.	Случ	Реал.	Случ.	Реал.	Случ.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
102(3)	20	13,50	8	2,84	37	30,59	0	3,64	Когнитив. баланса
300 (16)	0	0,01	6	6,96	0	0,03	0	0,04	
003 (1)	83	79,40	0	0,35	232	201,01	14	6,39	Кластеров



Продолжение Таблицы 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
021D (4)	10	13,50	1	2,84	18	30,59	3	3,64	Ранжированных кластеров
021U (3)	10	13,50	1	2,84	26	30,59	1	3,64	
030T (9)	2	6,43	6	9,35	5	13,78	0	3,18	
120D (12)	0	0,77	9	7,70	3	1,55	0	0,69	
120U(13)	0	0,77	6	7,70	1	1,55	0	0,69	
012 (2)	108	113,4 3	4	3,45	239	271,63	17	16,71	Транзитивная
021C(6)	28	27,01	7	5,68	52	61,18	1	7,28	Запрещенные триады
111D(7)	9	6,43	6	9,35	23	13,78	0	3,18	
111U(8)	9	6,43	10	9,35	24	13,78	6	3,18	
030C(10)	3	2,14	5	3,12	8	4,59	0	1,06	
201(11)	1	0,77	7	7,70	4	1,55	9	0,69	

Из таблицы 3.15 не видно того соответствия теориям структурного баланса, которое наблюдалось для социальных сетей. Можно сделать вывод о том, что теории и модели структурного баланса ориентированы на социальные сети.

Можно ли сделать вывод о различиях рассматриваемых экономических сетях и соответствующих случайных сетей по критерию  $\chi^2$ ? Значения этого критерия приведены в Табл. 3.16.

Таблица 3.16 – Значения  $\chi^2$  для триадных перечней экономических сетей

Сеть	Значение $\chi^2$	% ожидаем. знач. меньше 5	Мин. ожидаем. знач.
Проект лагеря	136,4632	81,25	0,04
Игра в Екатеринбурге	13,7198	43,75	0,01
Игра в Уфе	17,4179	37,5	0,35
Игра в Москве	49,6220	43,75	0,03
Муниципалитет	533,5381	43,75	0,02

В данном случае статистически значимых выводов сделать не удастся, т.к. во всех случаях доля ожидаемых значений меньше 5% превышает 20%.

### 3.2.4 Анализ наличия циклических паттернов в социальных и экономических сетях коммуникаций

Распределение циклических структур было найдено как для экономических, так и социальных сетей. Для определения того факта, насколько эти структуры характерны для сетей разных типов, подобные распределения были получены и для случайных графов Эрдеша-Реньи той же размерности и плотности (см. Рисунок 3.10).

Случайные графы строились с помощью среды Rажек. Для каждой реальной сети строилось 10 соответствующих случайных графов, затем были получены средние значения количества циклических структур для каждой размерности цикла. Именно эти средние значения показаны на диаграммах для сравнения с исследуемыми сетями. Для подсчета числа циклических структур разной размерности в графах была использован собственный программный продукт.

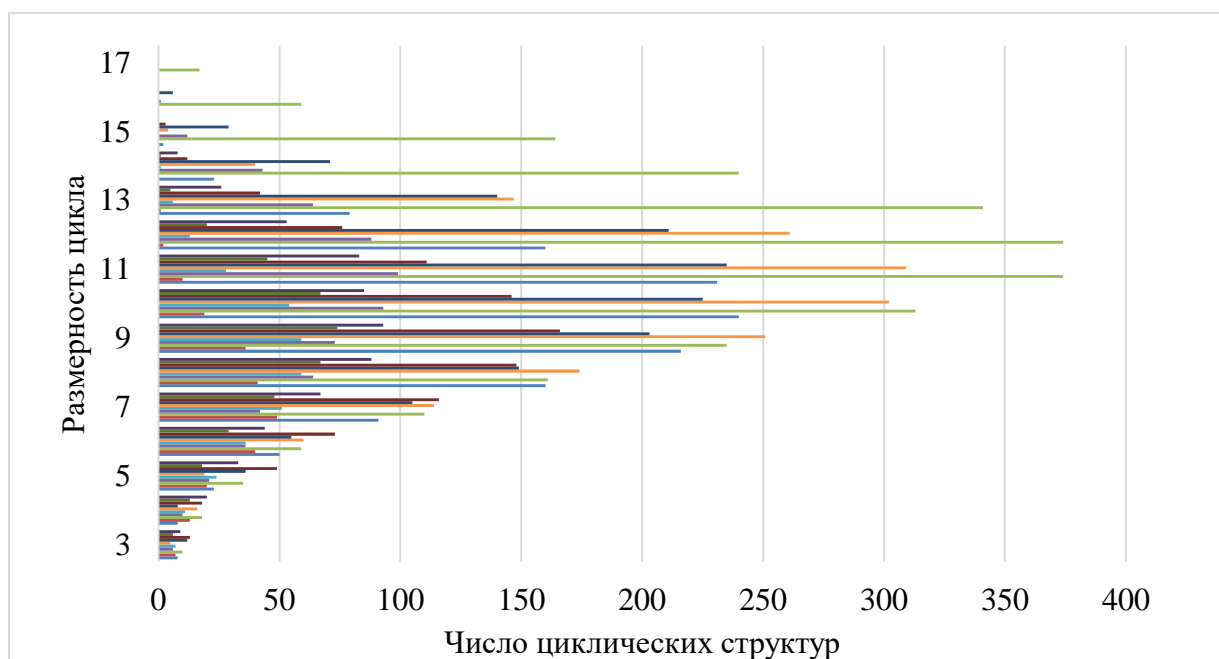


Рисунок 3.10 – Распределение циклов различной размерности случайных графов Эрдеша-Реньи (соответствие деловой игре в Москве)

Из рисунков 3.10 и 3.11 очевидно, что количество циклических структур (общее и по каждой размерности) в графе в значительной степени определяется размерностью графа и его плотностью.

На Рис. 3.12 показаны 2 результирующие диаграммы, для разных экономических сетей, участвующих в исследовании (сети – результат деловых игр),

показывающие разницу в количестве обнаруженных циклических структур в сетях игр и случайных графах.

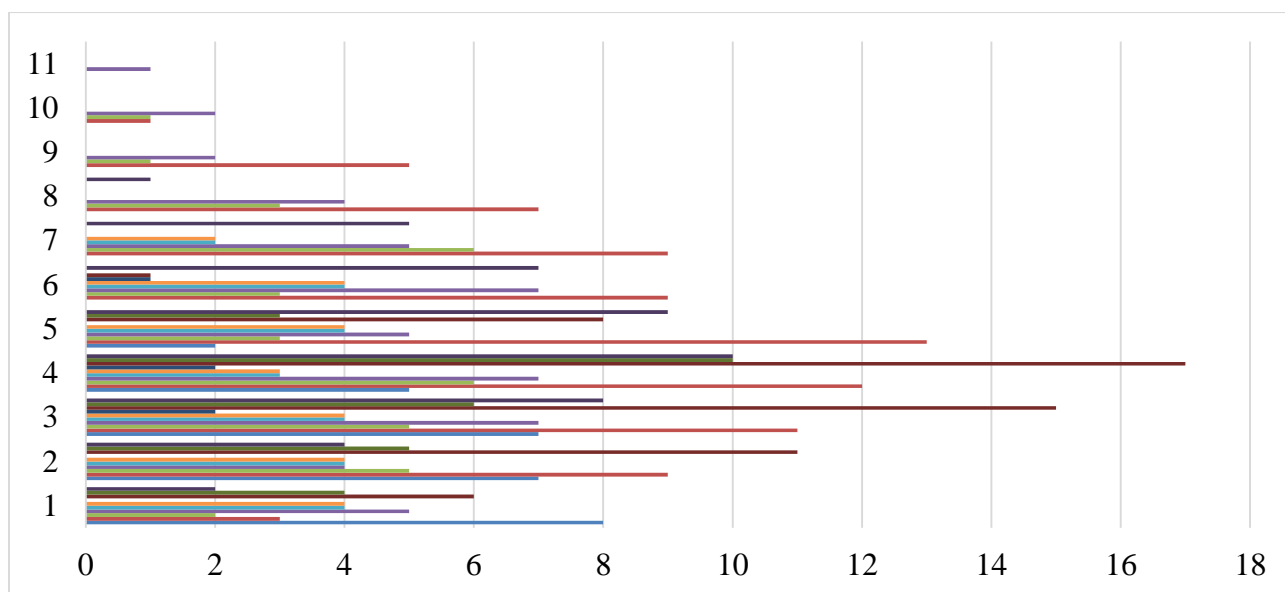


Рисунок 3.11 – Распределение циклов различной размерности случайных графов Эрдеша-Реньи (соответствие деловой игре в Екатеринбурге)

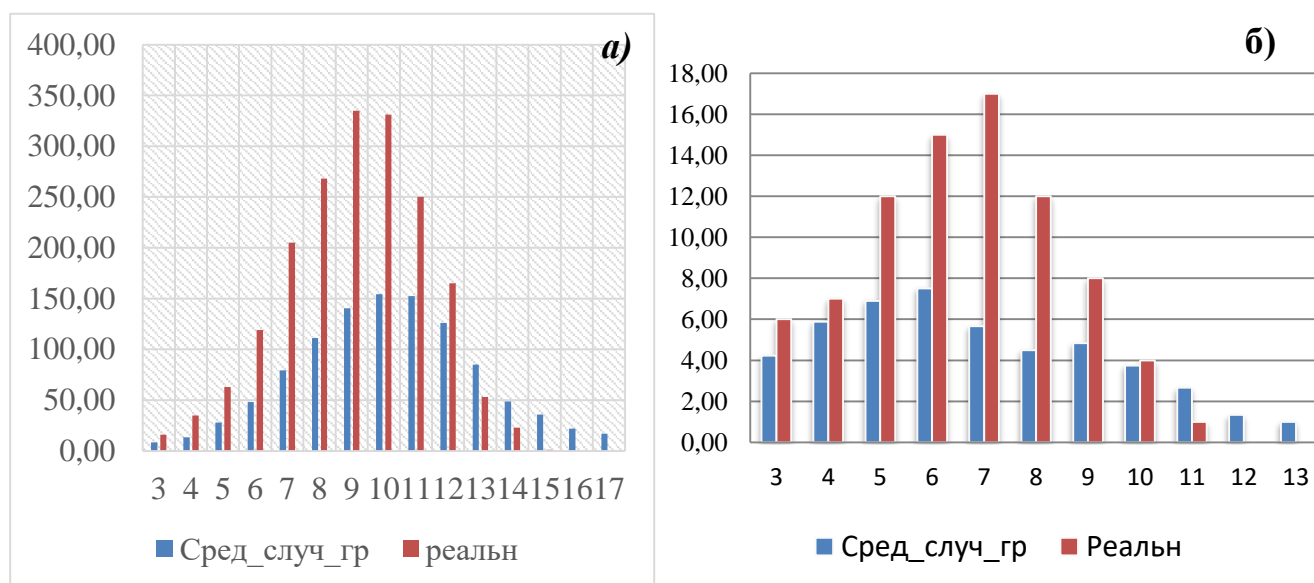


Рисунок 3.12 – Распределение циклов разной размерности в экономических сетях: а) деловая игра в Москве; б) деловая игра в Екатеринбурге

По диаграммам (Рисунок 3.12) можно сделать следующие выводы:

- в экономических сетях циклических структур больше, чем в случайных графах той же размерности и плотности;

– в экономических сетях наибольшее количество циклических структур имеет размерность примерно равную (или немного больше) половине размерности исходной сети.

Для сетей деловых игр (сообществ) количество циклических структур всех размерностей больше в реальных сетях, чем в сетях на основе случайных графов. Для сети муниципалитета не получено такого однозначного результата: в ней количество циклических структур соизмеримо с их количеством в случайных сетях.

Для социальных сетей получен противоположный результат. На Рисунке 3.13 показано распределение циклических структур разной размерности в социальных сетях. Для примера выбраны две социальные сети, полученные разными способами: на Рисунке 3.13а – сеть коммуникаций 34 академической группы, а на Рисунке 3.13б – сеть также академической группы, но другого курса и специальности, и образованная за счет обработки результатов анкетирования, отражающая связи дружбы.

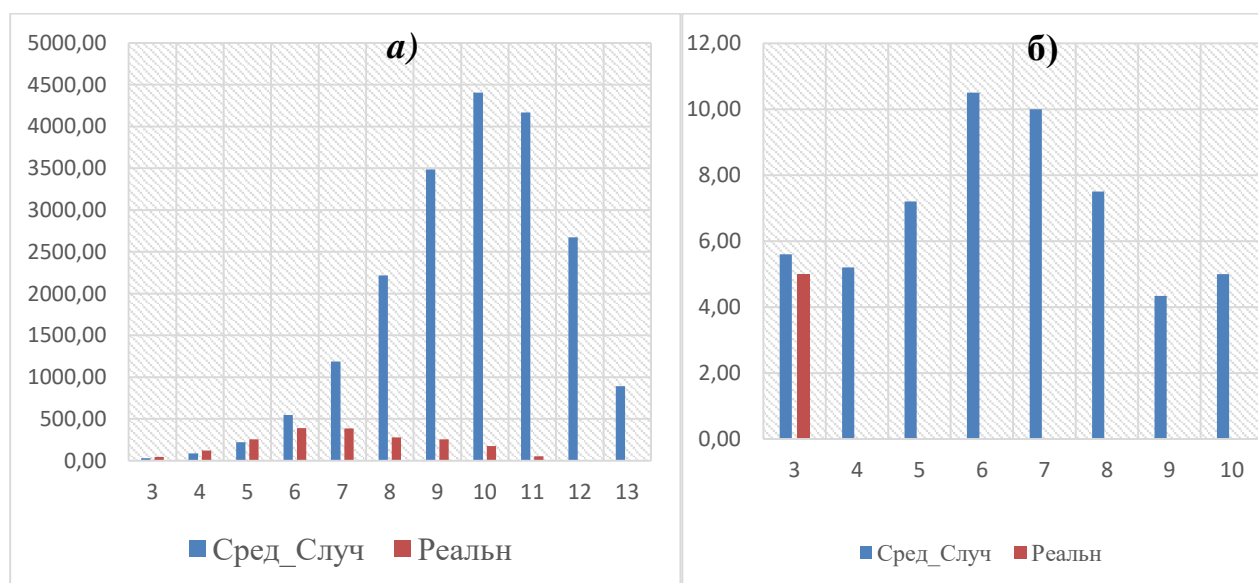


Рисунок 3.13 – Диаграммы распределения циклических паттернов разной размерности в социальных сетях: а) Сеть производственных коммуникаций 34 академической группы; б) Сеть дружеских связей 201 академической группы

Циклических структур больше найдено в соответствующих случайных графах, чем в реальных социальных сетях, хотя вывод о максимуме таких структур аналогичен, сделанному для экономических сетей: максимум в реальных сетях

находится в окрестности половинной размерности сети. Абсолютное число циклических структур зависит от плотности и размерности сети.

### 3.3 Динамика коммуникаций в модельной сети экономических агентов

#### 3.3.1 Исходные данные для верификации модели

Эксперименты с моделями (кроме базовой модели (1) и модели (4) коммуникаций агентов муниципальной экономической системы, они описаны отдельно) проводились на наборах данных, приведенных в Таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Данные для моделирования

Набор данных	Технологическая матрица (A)	Программа выпуска агента	Свободный остаток
1	$\forall i = 1..20, \forall j = 1..20, a_{ij} = 0,0385$	$\forall i = 1..20, x_i = 500$	$\forall i = 1..20, y_i = 115$
2	$\forall i = 1..20, \forall k$ $= 1..20, \sum_{i=1}^{20} a_{ki}$ $= \sum_{i=1}^{20} a_{ik} = 0,77$	$\forall i = 1..20, x_i = 500$	$\forall i = 1..20, y_i = 115$
3	$\left\{ \begin{array}{l} \forall k = 1..20: \sum_{i=1}^{20} a_{ki} = \sum_{i=1}^{20} a_{ik} = 0,77 \\ \forall m = 1..20, \forall n = 1..20, a_{mn} = a_{nm} \end{array} \right.$	$\forall i = 1..20, x_i = 500$	$\forall i = 1..20, y_i = 115$

Как видно из Таблицы 3.11 наборы сравнимы между собой, т.к. составлены для одинакового числа агентов – 20, эти агенты имеют одинаковые программы, одинаковые свободные остатки, используемые для непроеизводственных нужд. В первом наборе данных все агенты имеют одинаковые потребности в продукции друг друга (технологическая матрица содержит равные элементы). Во втором наборе данных агенты имеют разные «претензии» друг к другу, но суммарные потребности в продукции друг друга равны. Третий набор данных отражает ситуацию бартерного обмена в дополнение к суммарным равным потребностям:

каждые два агента имеют равные потребности в продукции друг друга, хотя потребности между парами агентов отличаются.

Был создан и ряд других наборов данных для проверки истинности полученных результатов и при других условиях.

### 3.3.2 Проверка выполнения условий аутопоэза для базовой модели

Одной из основных задач экспериментов с моделями было определение условий, при которых система проявляет себя как аутопоэтическая, т.е. воспроизводящая себя при бесконечном повторении цикла. Для этого агенты модели должны успешно реализовать свои товары и закупить нужные им ресурсы, в объеме, достаточном для того чтобы воспроизвести товар в первоначальном объеме

Во всех экспериментах на всех рассмотренных наборах данных было установлено, что если количественные атрибуты агентов рассчитаны в соответствии с балансовым уравнением Леонтьева, то коммуникации завершаются успешно и товары производятся в расчетном объеме. Длительность коммуникационного этапа, количество обменных операций и оборот финансовых средств (ф.с.) в системе зависят от объема ф.с. в системе и поведения самих агентов.

На модели (1) проводились эксперименты для исследования влияния объема имеющихся финансовых средств на изменение коммуникационной способности агентов. Рассматривались системы с 7 действующими агентами, 20 и 50 агентами. Вид окна модели представлен на Рисунке 3.14.

Эксперименты проводились для систем, в которых действуют агенты с одинаковыми коммуникационными (технологические матрицы систем содержат одинаковые по величине элементы) и производственными (одинаковые программы выпуска) способностями. Эти эксперименты и их результаты описаны в (Зверева, и др., 2013).

Для семиагентной модели

$$a_{ij}=0,1; \forall i, i=1..7; \forall j, j=1..7;$$

$$\vec{X} = [500,500,500,500,500,500,500];$$

$$\vec{Y} = [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150].$$

$$a_{ij}=0,03; \forall i, i=1..20; \forall j, j=1..20;$$

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, \\ 500, 500, 500, 500, 500 \end{bmatrix}$$

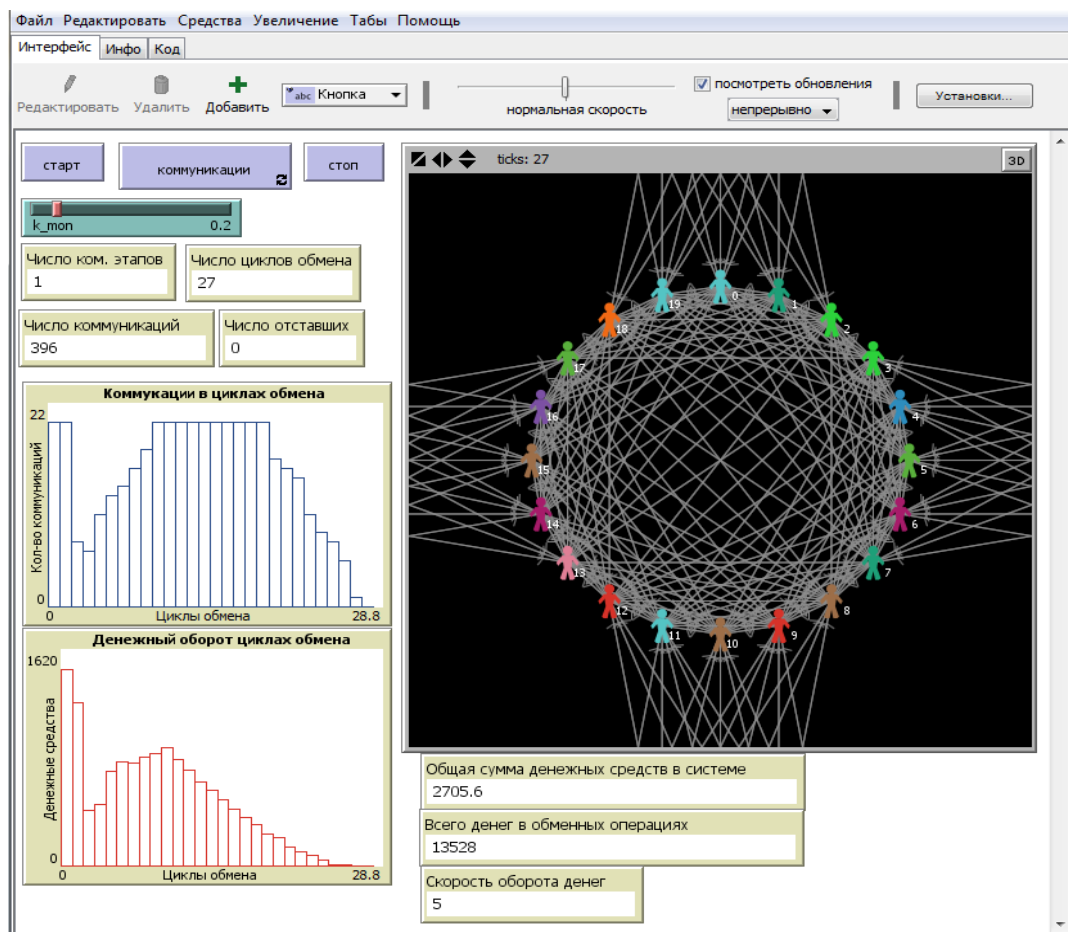


Рисунок 3.14 – Окно базовой модели коммуникаций производственных агентов

$$\vec{Y} = \begin{bmatrix} 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, \\ 200, 200, 200 \end{bmatrix}$$

Для пятидесятиагентной модели:

$$a_{ij}=0,01; \forall i, i=1..50; \forall j, j=1..50;$$

все элементы вектора  $\vec{X}$  имеют значение 500 у.е.;

все элементы вектора  $\vec{Y}$  имеют значение 250 у.е.

При изменении коэффициента обеспеченности финансами ( $K$ ) от 0,1 до 1,0 измерялись следующие параметры:

- объем ф.с., использованных в отдельном цикле обмена ( $M$ , в у.е.);

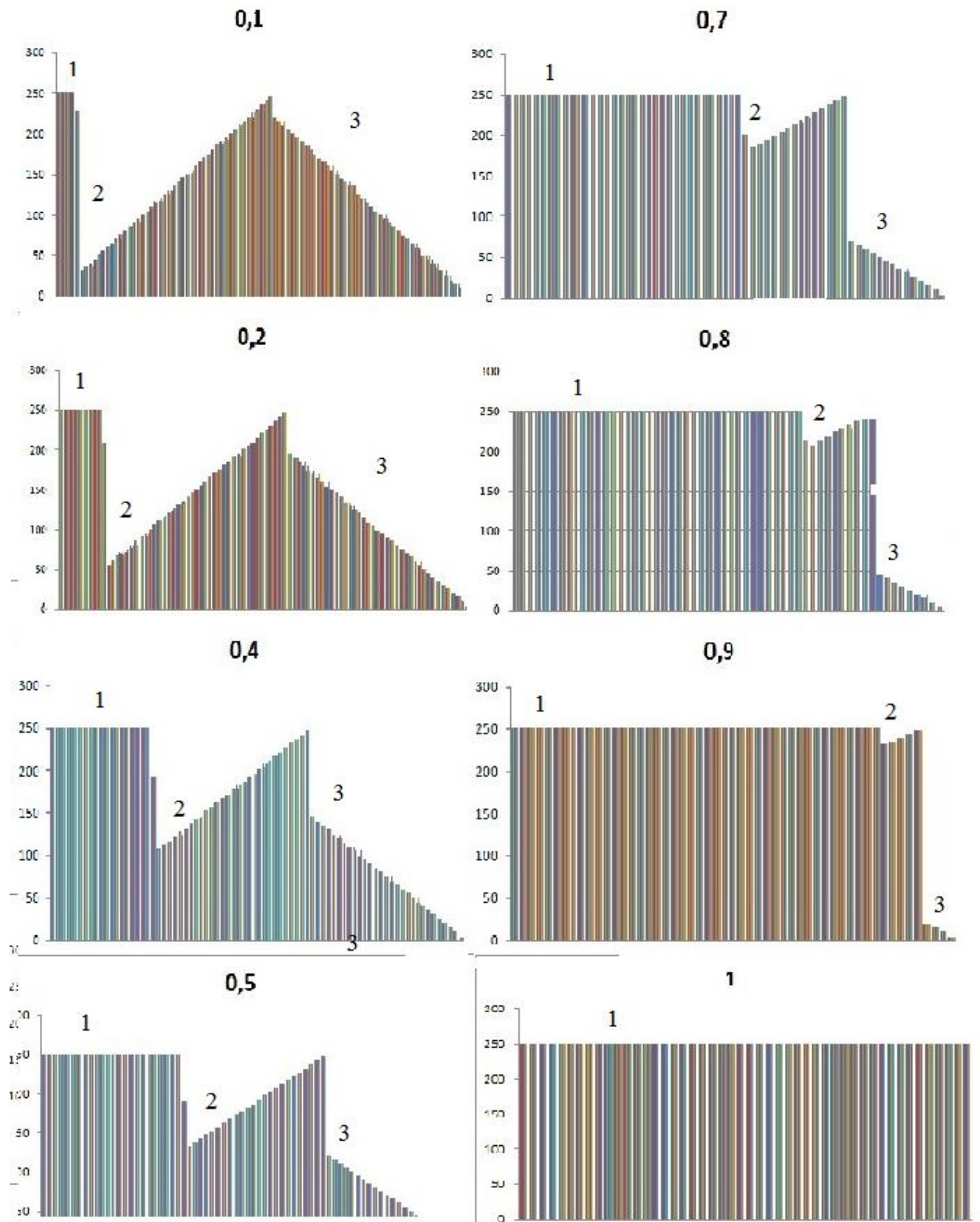


Рисунок 3.15 – Временные диаграммы использования финансовых средств при коммуникациях агентов при разных значениях коэффициента обеспеченности финансовыми средствами (пятидесятиагентная модель)



– длительность всего коммуникационного этапа, выраженная в числе циклов обмена, необходимых для полного удовлетворения потребностей всех агентов в продукции друг друга.

В моделях с разным количеством агентов, но однотипными технологическими матрицами были отмечены и сходные результаты. На Рисунке 3.14 можно проследить динамику изменения объема финансовых средств, использованных в цикле обмена, при разных значениях коэффициента обеспеченности финансами (показаны результаты расчетов для пятидесятиагентной модели).

По диаграммам видно, что коммуникационный этап можно разбить на три периода: первый (равномерный) период - все идет хорошо, все коммуникации успешны, обмены идут в объеме потребностей агентов; второй период (кризис и постепенный выход из него) – сначала снижение числа успешных коммуникаций, обмены частично обеспечивают потребности (кризис), затем постепенный подъем, объем обменов нарастает (выход из кризиса); завершающий этап – «дообеспечение» потребностей.

Все режимы обеспечения финансами можно разбить на три группы:

- в системе не хватает ф.с. ( $K \leq 0,7$ )), первый период растет с ростом  $K$ : чем больше  $K$  тем длиннее период устойчивости; второй период характеризуется достаточно резким спадом, чем меньше  $K$ , тем глубже кризис и медленнее выход из него; третий период уменьшается с ростом  $K$ ;
- в системе достаточное количество ф.с. ( $0,7 < K < 1$ ): значительный по длительности первый период, практически вырожденный второй и зеркальный ему третий период;
- в системе нормальный (или избыточный) объем ф.с. ( $K \geq 1$ ): второй и третий период вырождены, все коммуникации успешны, обмен в объеме потребности, что подтверждает верность количественной теории денег и уравнения Фишера [14].

Если обсуждать прогнозируемость протекания процесса (по характеристике стандартного отклонения использования финансовых средств в цикле обмена), то,

как видно из графика (Рисунок 3.16), стандартное отклонение сначала растет, около  $K=0,4-0,6$  достигается максимум, затем оно начинает уменьшаться. Можно говорить о том, что самые труднопрогнозируемые параметры коммуникации проявляются при коэффициенте обеспеченности финансами в диапазоне от 0,4 до 0,6. При таком большом разбросе значений трудно предсказать, какой объем финансовых ресурсов может потребоваться в реальной экономической системе в некоторый момент времени для успешной поддержки обменных процессов.

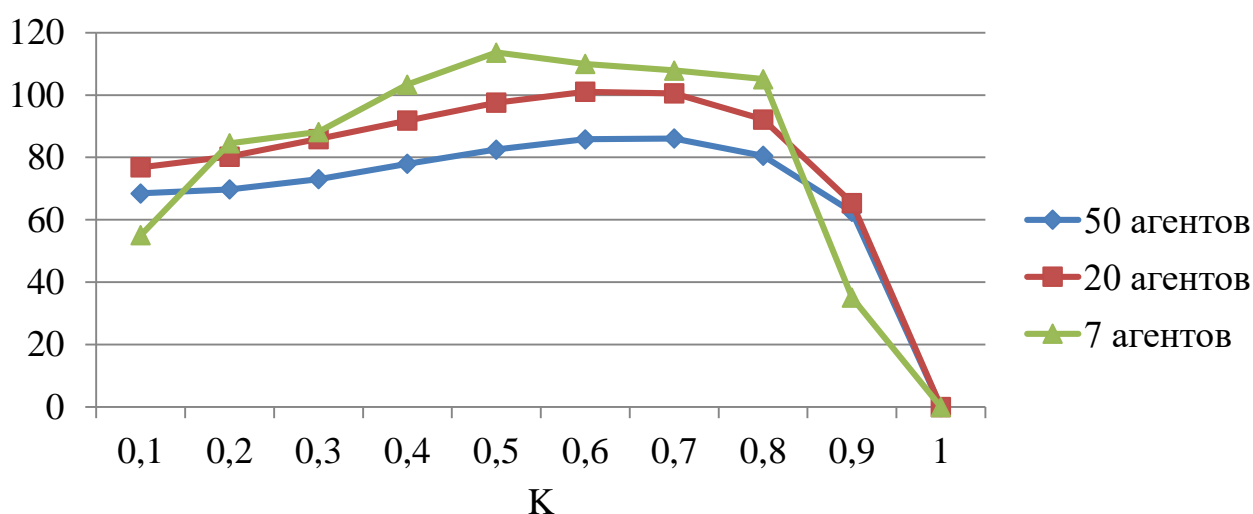


Рисунок 3.16 – Графики зависимости стандартных отклонений объемов финансовых средств от коэффициента обеспеченности финансами

### 3.3.3 Влияние поведения агентов на коммуникационный процесс в модели стратегий

Агенты могут вести себя по-разному, это различное поведение названо стратегией обмена и реализовано во второй модели.

При экспериментах с этой моделью были получены ответы на следующие вопросы:

1. Какую стратегию можно считать оптимальной, если критерием оптимизации является минимизация длительности коммуникационного этапа?
2. Какая стратегия позволяет наиболее быстро начать производство, обеспечив себя, пусть не в полном объеме, нужными ресурсами?

3. Как смена стратегии сказывается на коммуникационных способностях агента и его положении в системе?

Рассматривались случаи, когда:

- a) все агенты придерживались одной стратегии;
- b) часть придерживались одной стратегии, а другая часть другой стратегии, при этом агенты с одинаковой стратегией могли располагаться последовательно в списке или чередоваться.

Более подробно результаты экспериментов описаны в [206].

В ходе экспериментов были получены следующие результаты.

1. При первой и второй стратегиях (нумерация по Таблице 2.8) при малой обеспеченности ф.с. в системе (для рассмотренных наборов данных  $K \leq 0,7$  для первой стратегии и  $K \leq 0,6$  для второй стратегии) проявляются кризисные явления (обсуждалось для базовой модели). При 3 и 4 стратегиях обмена кризисных явлений практически нет. При 5 стратегии обменов небольшие кризисные явления возникают в условиях очень малой обеспеченности ф.с. ( $K < 0,1$ ).
2. Третья стратегия обмена по сравнению с остальными проявляется в большем количестве обменных операций, но именно эта стратегия является оптимальной в том случае, если необходимо начать производство, как можно раньше, не ожидая момента полного обеспечения агента ресурсами (Рисунок 3.17).
3. В ходе экспериментов был выявлен эффект «эгоизма», заключающийся в том что, если агент меняет свою стратегию на менее оптимальную, то он выигрывает лично, но ухудшает характеристики соседних агентов и всего процесса в целом.

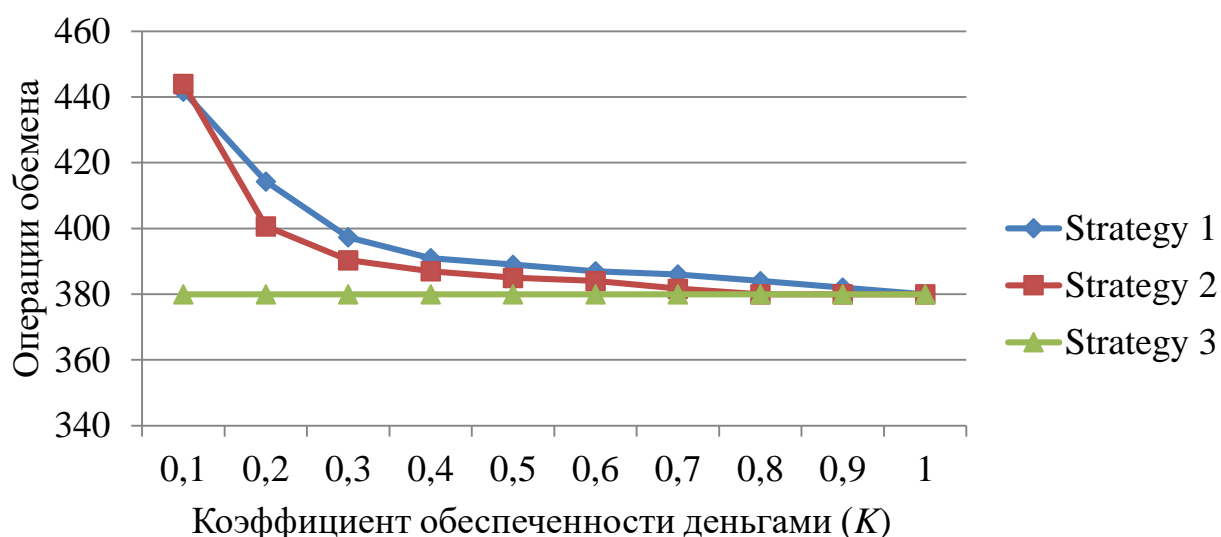


Рисунок 3.17 – Зависимость количества обменных операций, необходимых для начала производства от обеспеченности финансовыми средствами в системе

4. Если сравнивать влияние стратегий обмена на длительность коммуникационного этапа, то оптимальной является четвертая стратегия. Примерно одинаковые результаты дают 2 и 5 стратегия, и худшие результаты показывает система, если действующие в ней агенты используют 1 стратегию обмена. Это хорошо видно на Рисунке 3.18.

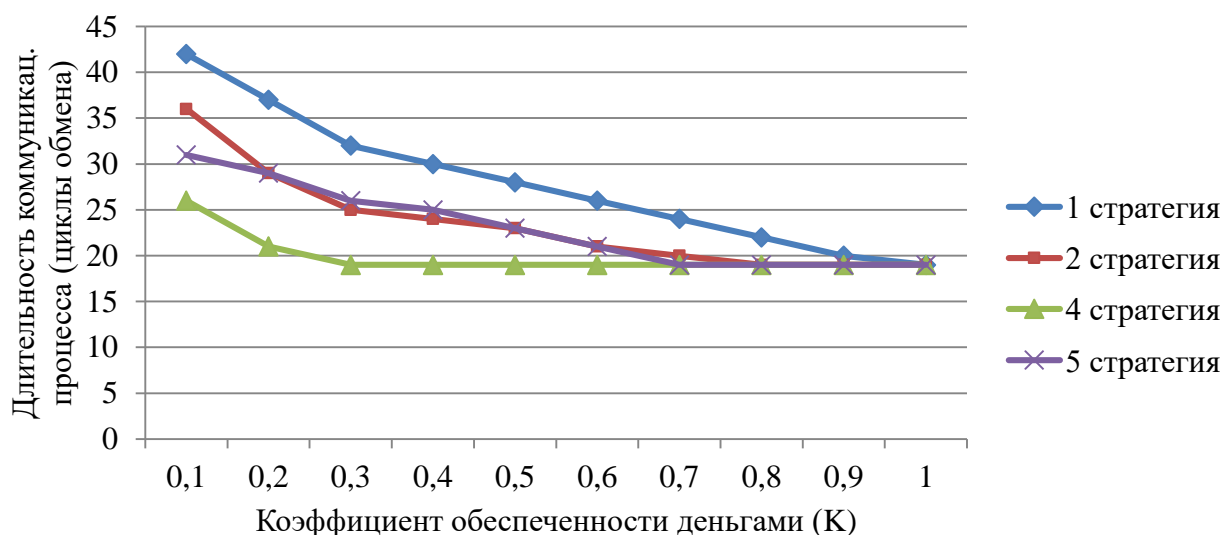


Рисунок 3.18 – Зависимость длительности коммуникационного процесса от коэффициента обеспеченности финансами в системе при разных стратегиях обмена, применяемых агентами системы

### 3.3.4 Динамика обменов в модели муниципальной производственной сети

Сеть муниципалитета была описана ранее. Матрица взаимного потребления (взаимных платежей) представлена в виде Таблицы 3.18.

Таблица 3.18 – Матрица взаимного потребления (взаимных платежей)

	Потребление продукции											
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	496000 (1841)	1340680 (10644)	0	0	0	0
2	405 (16)	0	0	53993 (2154)	590322 (23555)	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	79100 (61452)	0	0	0	0	0	0	0	8227 (8227)
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109460 (109460)
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79389 (79389)
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28775 (28775)
7	0	0	0	0	0	4081 (2255)	0	0	0	0	0	0
8	0	8726 (8725)	419318 (63558)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2352 (2352)
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33 (26)	9000 (6974)
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16280 (7756)
12	14000 (12469)	17000 (17000)	40450 (6131)	59000 (45844)	170300 (55834)	48000 (26520)	16000 (414)	30000 (61639)	19200 (2352)	7000 (7000)	7730 (7730)	0

Числа, указанные в таблице (без скобок) – то, что было рассчитано на основе данных статистики. Исходная матрица оказалась не сбалансированной. Это показали эксперименты с моделью муниципальных производственных агентов. Детально эксперименты описаны в [7].

После выявления замкнутых контуров обмена в системе (алгоритм выявления и балансировки детально описан в [33], матрицу удалось привести к сбалансированному виду (новые показатели указаны в скобках). В АОМ (окно модели на Рисунке 3.19) для муниципальных производственных агентов реализовано две стратегии поведения: списковая и

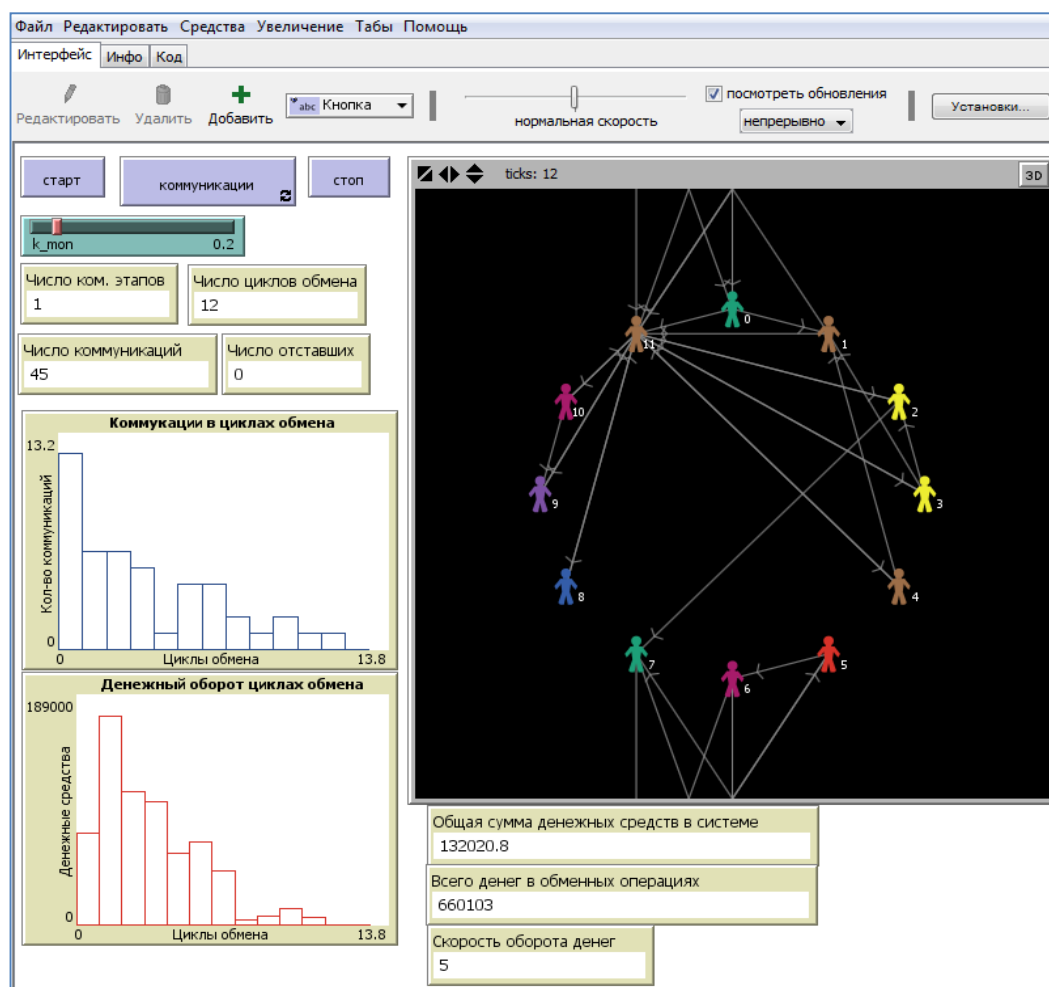


Рисунок 3.19 – Окно модели коммуникаций производственных муниципальных агентов

максимальная (и их сочетания). Как видно из Таблицы 3.18, реальная матрица взаимных платежей характеризуется большим количеством нулевых элементов. В реальной жизни это хорошо объяснимо, т.к. технологический процесс подразумевает потребление ограниченного числа ресурсов, устойчивые производственные связи образуются с небольшим количеством предприятий. При моделировании такая разреженная матрица приводит к тому, что количество актов коммуникации будет небольшим в сравнении с теоретическими матрицами, не содержащими нулевых элементов.

Для реальной матрицы потребностей закономерности, выявленные на теоретических матрицах взаимных потребностей, в основном подтвердились. Если рассматривать в качестве целевого показателя длительность коммуникационного этапа, то она минимальна для случая, когда все агенты применяют вторую

стратегию обмена, первая стратегия и различные комбинации стратегий показывают результаты хуже.

В экспериментах было доказано, что если потребности агентов сбалансированы на основе статического межотраслевого баланса Леонтьева, то при любом малом количестве финансов в системе, поддерживающих данные обмены, коммуникационный процесс заканчивается успешно, но длительность его зависит от объема ф.с. в системе. На длительность этого процесса также влияет и поведение агентов (Рисунок 3.20). Введены след обозначения: стр.1 – все агенты придерживаются стратегии 1; стр.2 – все агенты придерживаются стратегии 2; стр.1,2 – агенты на нечетных позициях в списке придерживаются стратегии 1, на четных – стратегии 2 (чередование стратегий); стр. 1-2 – первая половина агентов в списке придерживается стратегии 1, остальные (вторая половина списка) – стратегии 2.

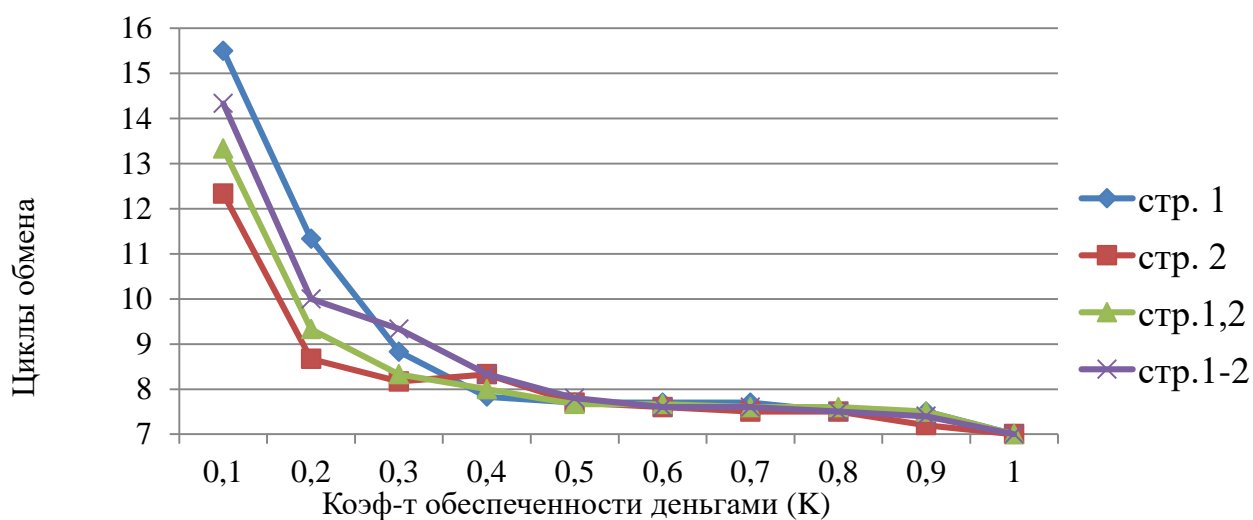


Рисунок 3.20– Зависимость длительности коммуникационного этапа в модели муниципальных производственных агентов от обеспеченности финансовыми средствами в системе при разных стратегиях обмена

Подтвердился и тот факт, что имеющееся в системе сочетание стратегий при недостатке финансов ( $K < 1$ ) значительно влияет на текущие параметры отдельного агента. Этот эффект исчезает, когда финансов в системе достаточное количество (при имеющихся данных при  $K > 0,6$ ). Экспериментальные данные о продолжительности коммуникационного этапа (средние значения серии

экспериментов) для некоторых агентов системы, основанной на реальной матрице взаимных платежей, при разных сочетаниях стратегий и коэффициенте  $K=0,1$ , приведены в Таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Средние значения длительности коммуникационного этапа для отдельного агента при разных сочетаниях стратегий обмена в системе (для  $K=0,1$ )

Ном ер Аген та	Стр.1	Стр.2	Стр.1, 2		Стр.2, 1		Стр. 1–2		Стр. 2–1	
	Длит.	Длит.	Длит	Стр. агент а	Длит	Стр. агент а	Длит	Стр. агент а	Длит	Стр. агент а
1	<b>2,3</b>	10	7,7	1	3,3	2	4	1	14	2
2	8,7	7	4,7	2	10	1	<b>4</b>	1	10	2
5	10	<b>6,7</b>	7	1	9,7	2	8,3	1	8,7	2
8	4	7,7	4,3	2	<b>3,3</b>	1	4	2	10,3	1
9	13,7	11	12	1	11,7	2	12,7	2	<b>11,3</b>	1
12	14,7	<b>10,7</b>	11,3	2	13,3	1	12,7	2	12,7	1

Как видно из Таблицы 3.19 при малых  $K$  ( $K=0,1$ ) продолжительность коммуникационного этапа отдельного агента зависит от существующего сочетания стратегий обмена в системе. Так, например, первый агент может завершить коммуникации за 2 цикла (если все агенты в системе придерживаются первой стратегии), а может – за 14 (если первая половина агентов придерживается второй стратегии, а вторая – первой). Для восьмого агента наиболее удачная ситуация складывается, когда в системе чередование стратегий. В таблице для каждого агента выделена минимальная продолжительность его коммуникационного этапа. Когда ф.с. в системе достаточно, то стратегии не влияют на продолжительность обменов отдельного агента. Агенту для обеспечения себя ресурсами необходимо такое количество циклов обмена, сколько у него ненулевых потребностей в продукции других агентов системы (при принятом в системе алгоритме совершения коммуникаций).

Длительности коммуникационного этапа для всех агентов системы при  $K=1$  приведены в Таблице 3.20. Длительность коммуникационного этапа всей системы равна 7 циклам – максимальному количеству ненулевых элементов в векторах потребностей ( $\vec{W}_i$ ).



Таблица 3.20 – Длительности коммуникационного этапа для агентов при  $K=1$ 

Номер агента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Длительность	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1	2	7

Если рассматривать распределение агентов, успешно завершивших обмены по циклам обмена, то можно обнаружить следующее: временной интервал завершения обменов длиннее при первой стратегии, и агенты более равномерно распределены по циклам обмена. При  $K=0,1$  есть агенты, завершившие обмены во 2 цикле, последний агент завершил обмен в 14 цикле, т.е. интервал завершений равен 12 циклам; при том же значении коэффициента  $K$  и второй стратегии первые агенты завершают обмены в 6 цикле, а последний в 13, т.е. интервал завершений равен всего 7 циклам. При  $K=1$  распределение агентов одинаковое для различных стратегий (см. Рисунок 3.21).

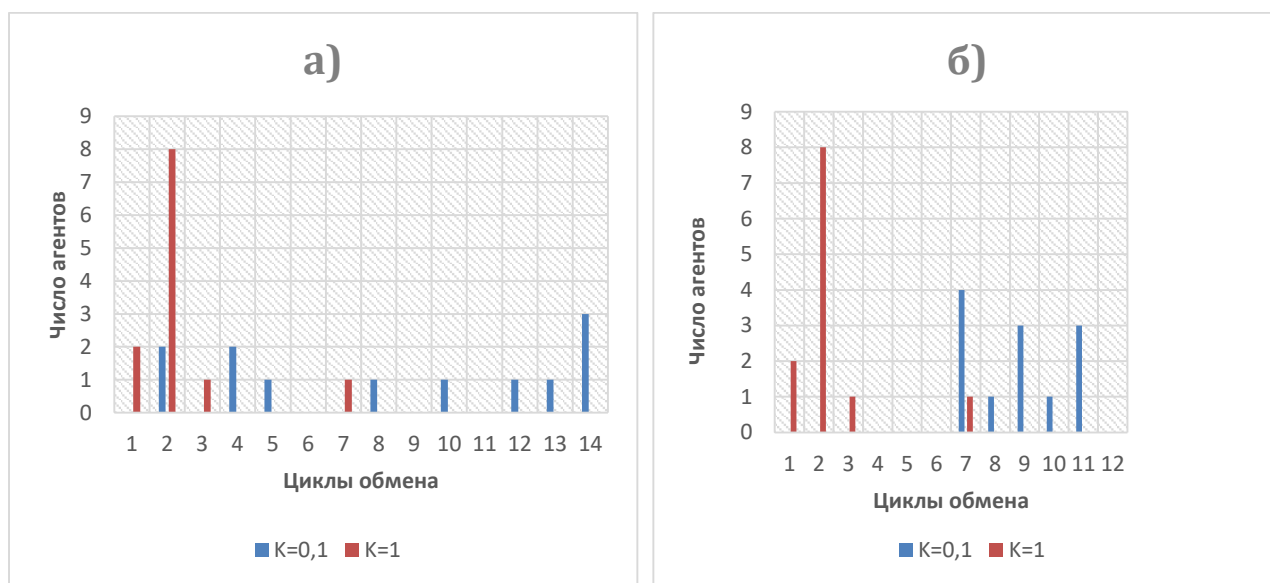


Рисунок 3.21 – Распределение успешно завершивших обмены агентов по циклам обмена при разных значениях коэффициента  $K$  для реальной матрицы  $W$  (а) стр.1; б) стр.2)

В экспериментах с реальной матрицей взаимных платежей с целью минимизации времени для возобновления производства как для системы в целом, так и для каждого агента лучшим образом проявила себя третья стратегия обмена.

Таким образом, на модели, основанной на реальных данных, были подтверждены практически все результаты, полученные для теоретических данных.

### 3.3.5 Ускорение коммуникационного процесса за счет ввода внутренней валюты в модели открытой системы

Модель Леонтьева имеет ряд ограничений: одно из них – модель описывает закрытую систему. Для того чтобы преодолеть это ограничение, в систему вводится агент – внешняя среда, обмены с которым ведутся только с использованием реальных, или внешних, ф.с.. В остальных обменах агенты в первую очередь пытаются использовать виртуальные, или внутренние, ф.с.

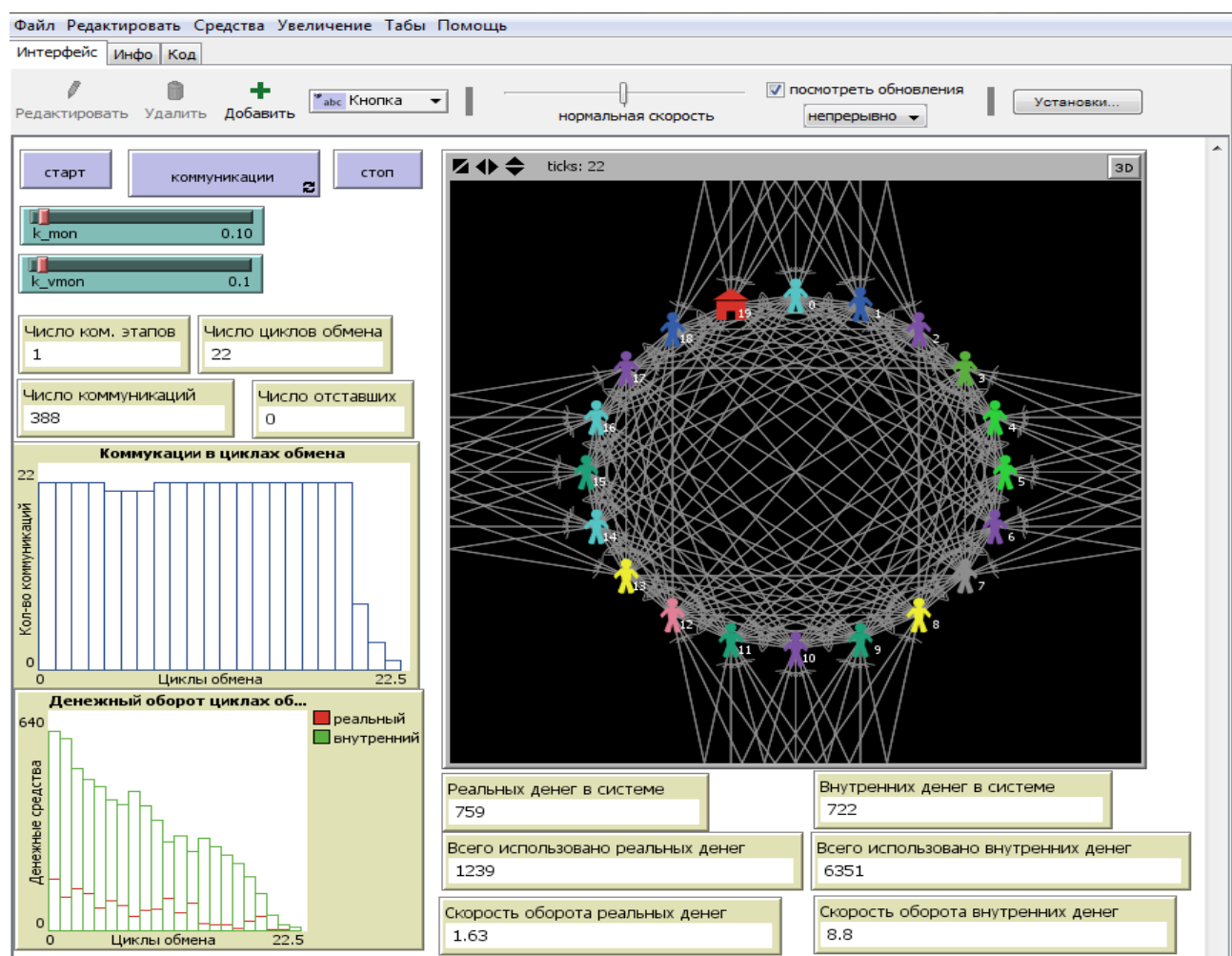


Рисунок 3.22 – Окно модели открытой системы

Местоположение агента - внешней среды в списке агентов системы задается программно и может быть изменено. В окне модели (Рисунок 3. 22) агент Внешняя среда изображен икон кой домиком.

Схема алгоритма расходования ф.с. при обменах показана на Рисунке 3.23.

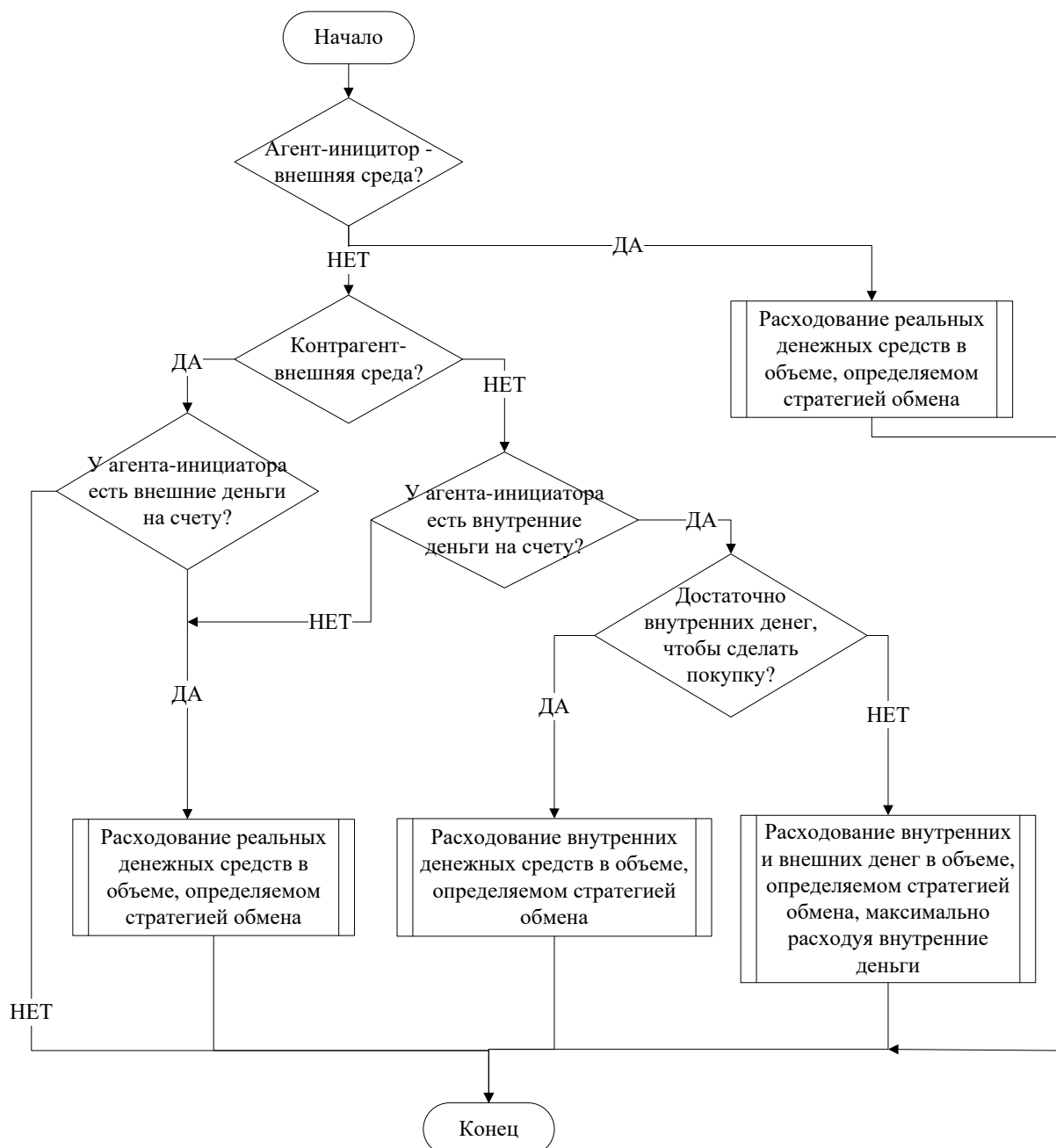


Рисунок 3.23 – Схема алгоритма расходования ф.с. агентом – инициатором коммуникации

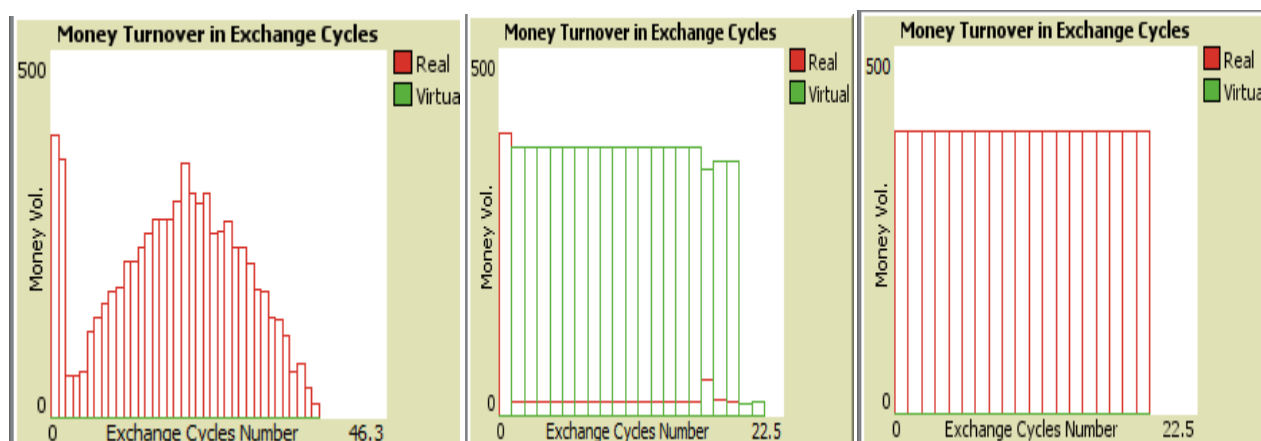
Была проведена серия экспериментов на модели с использованием 3 ранее описанных наборов данных. Эксперименты проводились для первой и второй стратегий обмена, т.к. их использование давало худшие результаты по сравнению с другими стратегиями.

Были получены следующие результаты (подробно описаны в [102]).

Появление внутренних ф.с. в системе значительно уменьшает длительность коммуникационного этапа, внутренние финансы во внутренних обменах выполняют роль обычных реальных ф.с.. На Рисунках 3.24, 3.25, 3.26 показаны

диаграммы оборота ф.с. на разных наборах данных. Зеленым цветом изображены данные о внутренних (виртуальных) ф.с., красным – о реальных ф.с.

1. Появление внутренних ф.с. в системе снимает «напряженность», исчезают кризисные явления, которые хорошо видны на Рисунках 3.24а), 3.25а) и 3.26а). Чем меньше реальных ф.с. в системе, тем заметнее влияние, оказываемое внутренними ф.с.

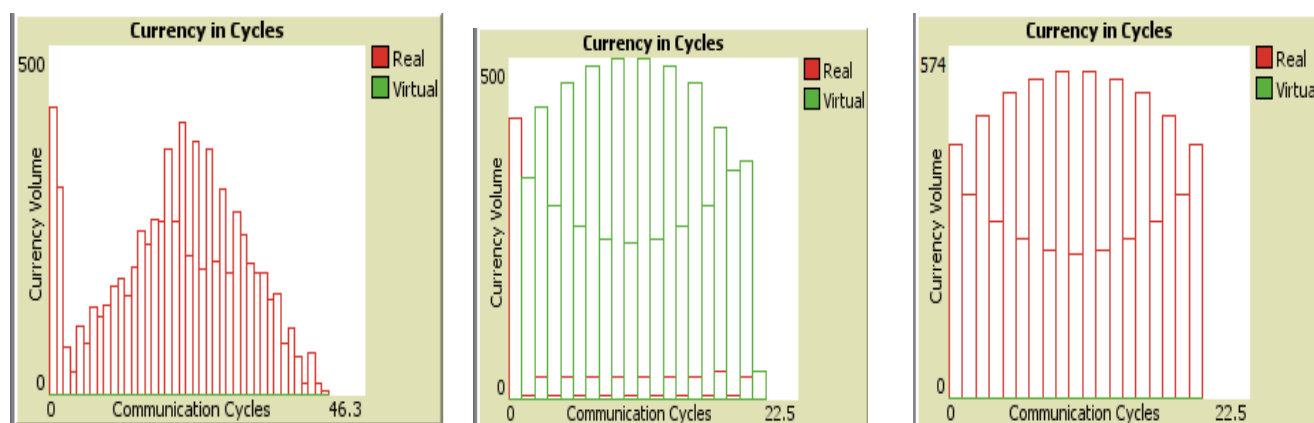


a)  $k_{mon}=0,1; k_{vmon}=0$

b)  $k_{mon}=0,1; k_{vmon}=0,4$

c)  $k_{mon}=1,0; k_{vmon}=0$

Рисунок 3.24 – Оборот финансовых средств в циклах обмена на первом наборе данных и первой стратегии обмена при разной обеспеченности внутренними и внешними финансовыми средствами в системе



a)  $k_{mon}=0,1; k_{vmon}=0$

b)  $k_{mon}=0,1; k_{vmon}=0,4$

c)  $k_{mon}=1,0; k_{vmon}=0$

Рисунок 3.25 – Оборот финансовых средств в циклах обмена на втором наборе данных при первой стратегии обмена и разной обеспеченности внутренними и внешними финансами в системе

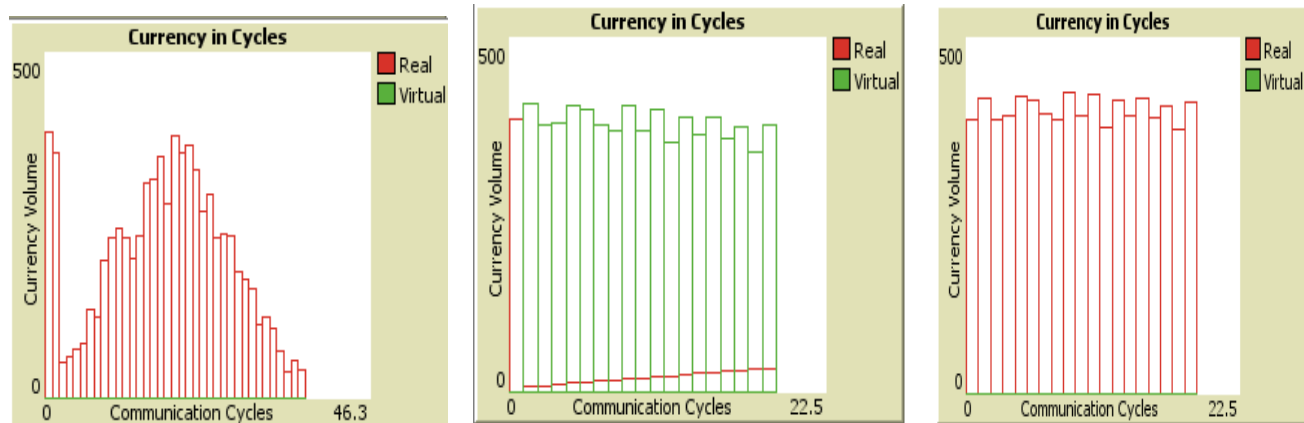
a)  $k_{mon}=0,1; k_{vmon}=0$ b)  $k_{mon}=0,1; k_{vmon}=0,4$ c)  $k_{mon}=1,0; k_{vmon}=0$ 

Рисунок 3.26 – Оборот финансовых средств в циклах обмена на третьем наборе данных при первой стратегии обмена и разной обеспеченности внутренними и внешними деньгами в системе

Рисунок 3.27 показывает, что на любых наборах данных виртуальные деньги приводят к уменьшению времени коммуникационного этапа.

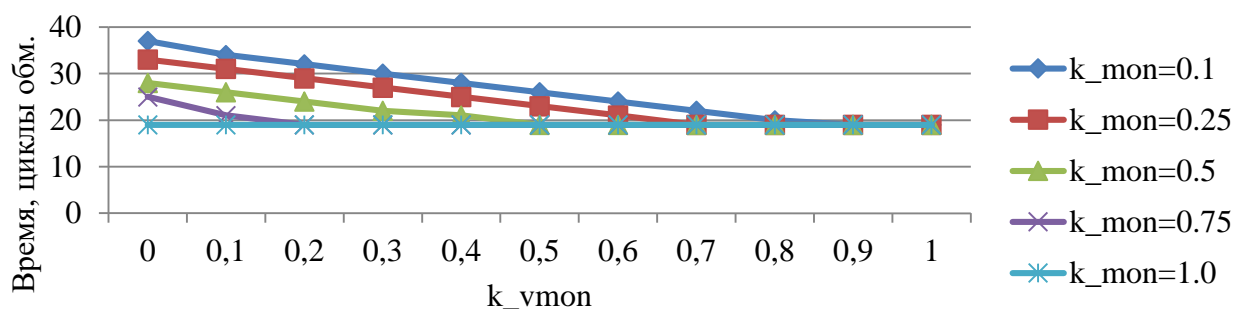
### 3.3.6 Верификация результатов расчетов на данных экономического эксперимента с использованием внутренней валюты

Экономический эксперимент проводился в бизнес-сообществе сельской местности республики Башкортостан, в 40 км от г. Уфа, объединяющее небольшие производства и сферу услуг пяти близкорасположенных деревень [22]. Экономическую основу сообщества составляет сельское хозяйство и продукты его переработки. Совокупные показатели сообщества:

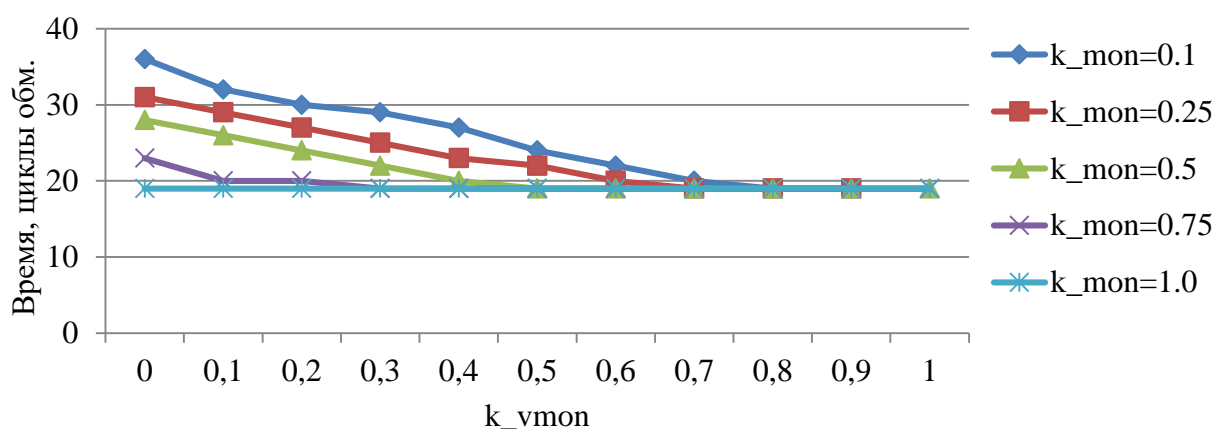
- численность работающих составляет до 200 человек;
- виды деятельности: растениеводство, животноводство, торговля, оказание услуг сельскохозяйственной техникой;
- площадь обрабатываемой земли - 8000 га, пашни – 6000 га;
- поголовье крупного рогатого скота – 1200 голов;
- уровень капитализации – 330 млн. рублей.

В момент начала эксперимента сообщество находилось в депрессивном состоянии: росла задолженность по банковским кредитам; отсутствовали наличные средства для выплаты зарплаты, долг по которой перед работниками составлял более трех месяцев; значительно обострилась социальная напряженность.

**Первый набор данных  
(первая стратегия)**



**Второй набор данных  
(первая стратегия)**



**Третий набор данных  
(первая стратегия)**

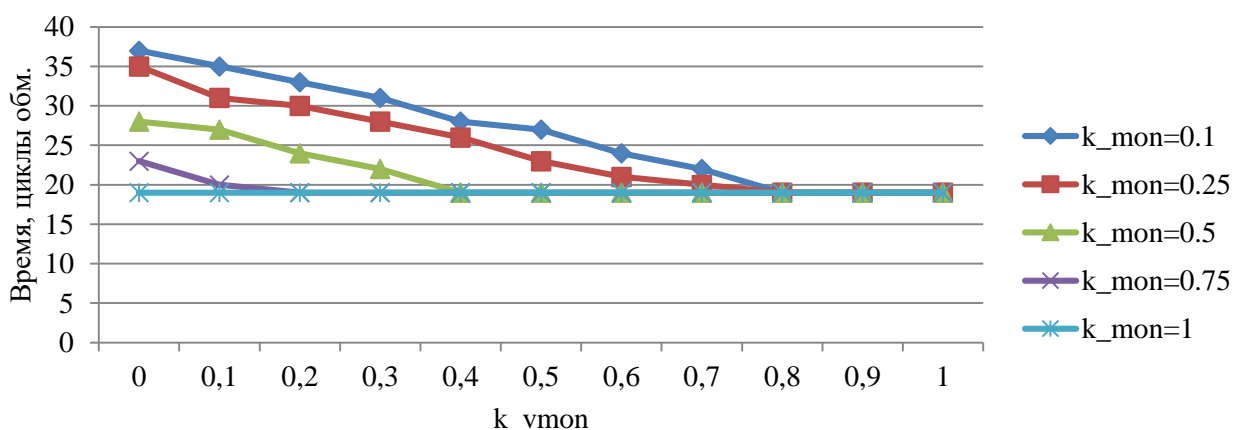


Рисунок 3.27 – Графики зависимостей длительности коммуникационного этапа от наличия внутренних финансовых средств в системе при разных коэффициентах обеспеченности реальными финансовыми средствами в системе

В период с 2010 по 2013 годы было проведено три экономических эксперимента по обеспечению товарного обмена на территории сообщества с использованием местной внутренней валюты. Она была на 100% обеспечена

продукций местного бизнес-сообщества и товарными остатками в магазинах. Эмиссионным центром стало самое крупное предприятие сообщества – ООО «Шаймуратово». Оно выпускало местную валюту (товарные талоны) в наличной форме, которая получила название «шаймуратик». Каждый год товарные талоны прежнего выпуска выводились из оборота и заменялись новыми. Ежегодный выпуск внутренней валюты составлял от 100 до 400 тыс. рублей.

Ограничений на обращение этой валюты не было: она использовалась для выплаты зарплаты работникам и во взаиморасчетах между предпринимателями. Использование было добровольным – любой участник сообщества в любой рабочий день мог получить необходимое количество талонов в кассе предприятия в пределах своей заработной платы. Поэтому «шаймуратики» оказывались востребованы тогда, когда в локальном сообществе не хватало рублевой наличности для обеспечения оборота. Контроль оборота в рублях и внутренней валюте осуществлялся как при их выдаче (в кассе предприятия), так и при приеме в оплату за товары и услуги (кассы магазинов и др.). Данные об обороте обеих валют агрегировались за одну неделю. Таким образом, удалось выяснить, какое количество рублей и «шаймуратиков» находилось в обороте местного сообщества каждую неделю. График оборота представлен на рис. 3.28. Масштаб оборота в обеих валютах сделан сравнимым (см. левую и правую шкалы) для более наглядной иллюстрации обнаруженного синергетического эффекта от их совместного использования.

Видно, что для «запуска» оборота потребовалось около 5 недель, на протяжении которых сообщество училось пользоваться новой валютой. В дальнейшем оборот демонстрировал тенденцию к росту на протяжении всего эксперимента – как в рублях, так и местной валюте. В то же время в соседних сообществах, которые пользовались только рублями, оборот стабильно снижался. Недельная зависимость оборота имеет ярко выраженный сезонный характер: так, резкий скачок оборота в обеих валютах на 29-32 неделе является предновогодним, который сменился спадом (33 неделя) ввиду снижения деловой активности в зимние каникулы.

На графике наглядно видно, что в периоды, когда в сообществе имеется недостаточное количество рублевой массы, её недостаток компенсируется товарными талонами. И, наоборот, – при появлении большего количества рублей потребность в использовании талонов снижается. Таким образом, внутренняя валюта в локальном бизнес-сообществе органично дополняет собой валюту национальную.

За первый год эксперимента её использование обеспечило устойчивое развитие локального бизнес-сообщества по следующим основным параметрам:

- внутренний товарооборот увеличился в 12 раз;
- производительность увеличилась на 20%;
- полностью была погашена задолженность по оплате труда (3 месяца);
- средний размер заработной платы вырос на 26%.

**Сравнительная динамика товарооборота в российских рублях и внутренних деньгах (недельная детализация)**

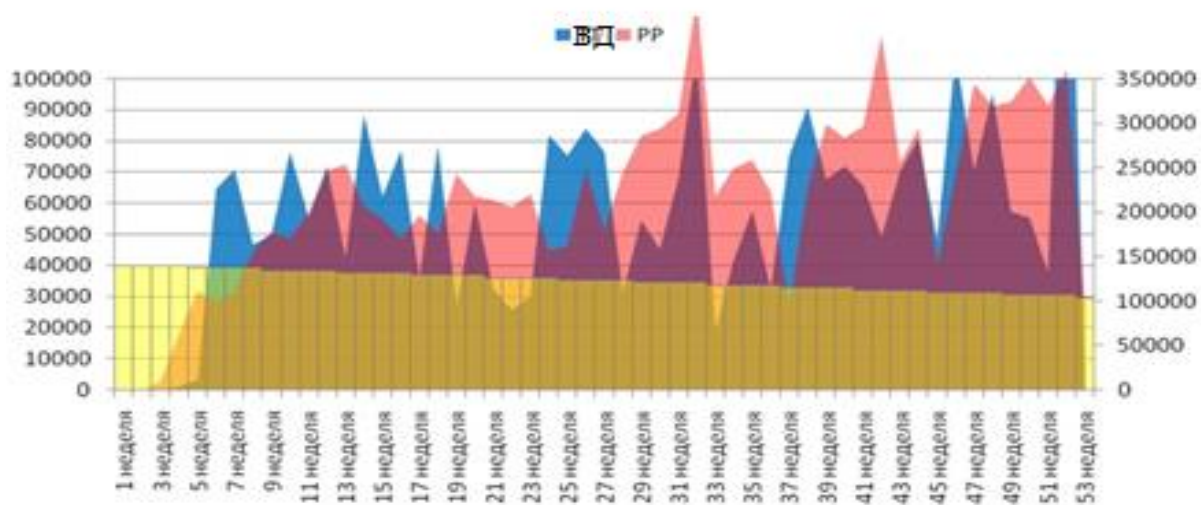


Рисунок 3.28 - Сравнительная динамика товарооборота локального бизнес-сообщества во внутренних деньгах (показано синим, левая шкала) и российских рублях (показано красным, правая шкала) при недельной детализации. Данные эксперимента 2010-2011 гг.

### **3.3.7 Перспективы развития комплекса АОМ за счет введения в модель производственного этапа**

Все вышеописанные эксперименты с моделями производились на основе данных, соответствующих условию статического баланса Леонтьева.



Целью следующих серий экспериментов был поиск ответа на вопросы: «Может ли система сбалансировать сама себя, если нарушено исходное условие баланса Леонтьева? Придет ли система в равновесное состояние, скорректировав текущие потребности агентов и их программы выпуска?» С этой целью была создана производственно-коммуникационная модель, которая основана на базовой модели, но в алгоритм введен дополнительный этап – производственный.

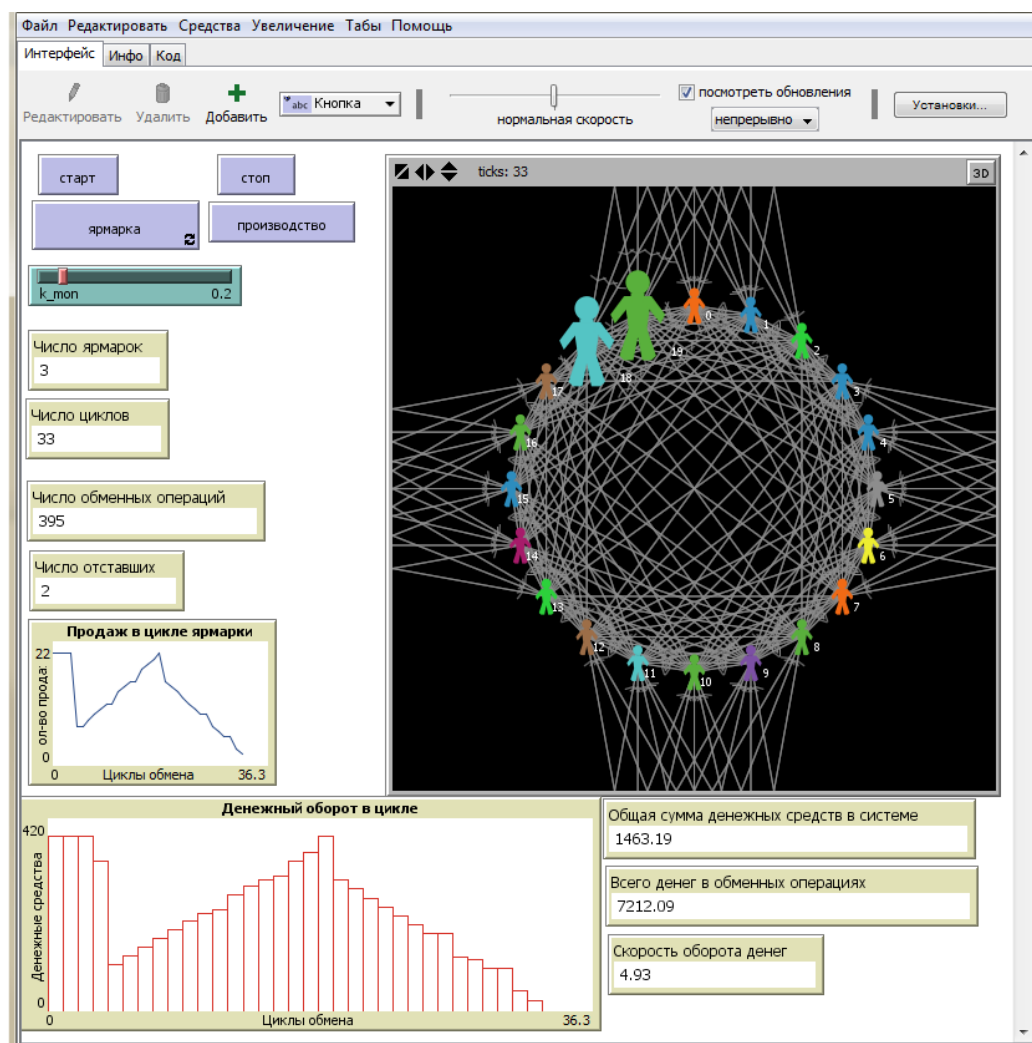


Рисунок 3.29 – Окно производственно-коммуникационной модели

В качестве исходных данных был взят первый набор данных, в него были внесены изменения: был изменен список потребностей одного из агентов (седьмого в данном примере), у этого агента увеличены потребности в ресурсах всех остальных агентов, соответственно, при том же объеме выпуска у него уменьшен свободный остаток (см. Таблица 3.21).

Таблица 3.21– Данные для моделирования

Данные, рассчитанные на основе статического баланса Леонтьева	Данные с «агентом нарушителем»
$\forall i = \overline{1,20}, \forall j = \overline{1,20} a_{ij} = 0,0385$ $\forall i x_i = 500, y_i = 115$	$\forall i = \overline{1,20} (i \neq 7), \forall j = \overline{1,20} (j \neq 7)$ $a_{ij} = 0,0385$ $\forall i (i \neq 7) x_i = 500, y_i = 115$ $\forall j a_{7j} = 0,0386, x_7 = 500, y_7 = 114$

Часть агентов в таких модельных условиях не смогла обеспечить себя ресурсами в нужном объеме. На Рисунке 3.29 показано окно программной модели. Те агенты, которые после коммуникационного этапа обеспечили себя не в полной мере ресурсами, показаны в увеличенном размере (агенты 18, 19), а их количество отражено в мониторе «Число отставших – 2».

В производственно-коммуникационной модели циклически повторяются 3 этапа: формирования потребностей, коммуникационный этап и этап производства. Моделирование заканчивается тогда, когда один из агентов не может произвести товар, в этом случае другие агенты не смогут произвести свой в связи с полной недоступностью одного из ресурсов. Длительность жизненного цикла системы определяется количеством повторений описанных 3 этапов, которые составляют один «производственно-коммуникационный» цикл.

Результаты моделирования следующие:

1. В первой серии экспериментов были использованы правила, заложенные в статическом балансе Леонтьева: каждый агент, имея определенный объем продукции, в соответствии с ним рассчитывает потребности на выпуск такого же объема продукции в следующем цикле и определяет свободный остаток для непроеизводственного потребления. Деньги на счету агента рассчитываются в соответствии с объемом продукции, который он может продать (плюс то, что могло остаться у него уже быть на счету от предыдущей деятельности).
- При использовании агентами списковой стратегии (все агенты действуют в соответствии со списком, по которому они упорядочены в системе, при этом объем очередного обмена максимально возможный) в первом цикле последние 2 агента

корректируют свои программы, потребности и средства на непроизводственные нужды (свободные остатки) в меньшую сторону, т.к. не закупают достаточного количества ресурсов.

- Начиная со второго цикла, система пытается найти баланс, но равновесие не достигается: количество агентов, которые не могут закупить ресурсы в нужном объеме нарастает; и примерно через 5 коммуникационно-производственных циклов, система перестает функционировать.
- Длительность жизненного цикла системы практически не зависит от количества финансовых средств в системе, он равен 5 циклам. При заданных правилах система не может воспроизвести сама себя, утрачивая свойство аутопоэза. Результаты экспериментов показаны на Рисунке 3.30.

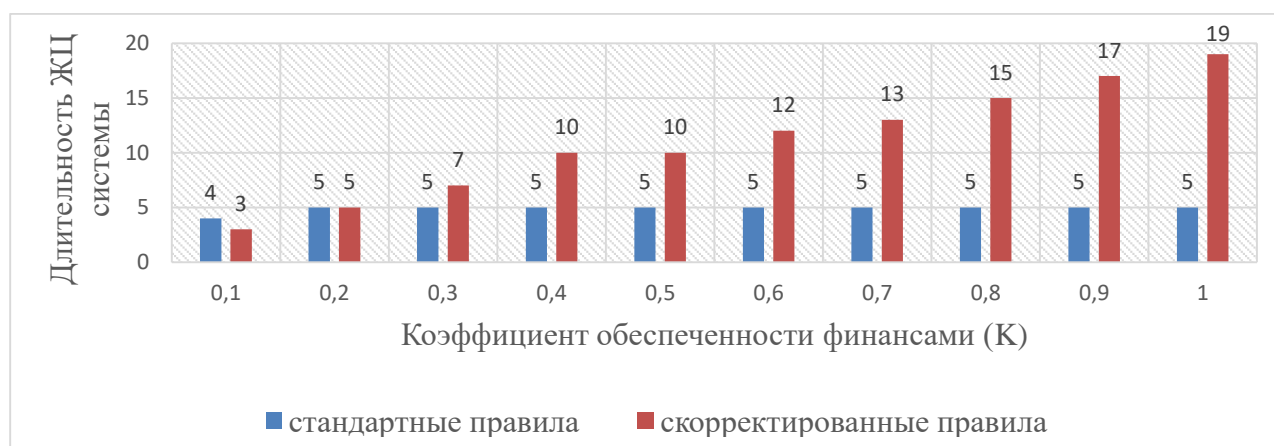


Рисунок 3.30 – Зависимость длительности ЖЦ системы от коэффициента обеспеченности финансами при разных правилах, принятых в системе

2. Во второй серии экспериментов были изменены правила распределения средств: если агенту не удастся закупить ресурсы в нужном количестве, и он вынужден выпустить меньше продукции, то он не оставляет средств на непроизводственные нужды, а вкладывает их в производство, т.е. обнуляя свободный остаток, увеличивает объем финансовых средств, которые он использует для покупки нужных ресурсов.
- система становится более устойчивой, у нее появляется «равновесный» период, длительность его зависит от объема финансовых средств, циркулирующих в системе (от коэффициента  $K$ ), см. Рисунок 3.30;

– в начале ЖЦ системы трудности испытывают последние два агента, им приходится корректировать выпуски, в дальнейшем у них копятся не востребованные деньги на счету. В конечном итоге, именно «агент-нарушитель» не может производить, прерывая жизненный цикл системы.

Эксперименты показали, что именно правила, действующие в системе, определяют, является ли система аутопоэтической, а, следовательно, устойчиво функционирующей во времени. Определяющим правилом является правило статического баланса Леонтьева.

### **3.3.8 Выводы об условиях существования аутопоэза в системе экономических коммуникаций**

Созданное множество моделей позволяет исследовать системы на наличие и поддержание свойства аутопоэза. Моделируемая система производственных коммуникаций обладает всеми признаками аутопоэтической системы. Это система процессов, причем это процессы того типа, которые характерны для аутопоэтической системы (согласно [204]):

- процессы производства элементов (poiesis): такими элементами можно считать потребности, рассчитанные на основе статического баланса Леонтьева, именно этот баланс стал основным правилом возникновения этих элементов;
- процессы связывания (включения элементов в сеть процессов): в качестве таких процессов связывания выступают сами коммуникационные операции, в которых осуществляются обмены товара на деньги, правилами такого «связывания» являются стратегии обмена;
- процессы распада: в качестве процессов распада выступают процессы потребления ресурсов в производственном процессе; производя продукцию в расчетном объеме, агент создает базу для возобновления коммуникаций.

При вводе агента – внешней среды снимается ограничение, присущее статической модели Леонтьева, система становится открытой. Одно из условий теории аутопоэза – открытость системы, сопряжение системы с внешней средой реализовано через матрицу взаимного потребления.

Характеристики агентов рассчитаны на основе уравнений МОБ Леонтьева, что предопределяет возможность простого воспроизводства в бесконечном повторении цикла.

Агенты достаточно рациональны, действуют по определенным правилам, но в реальности всегда есть элемент случайности, элемент стохастичности введен в модель: выбор агента-инициатора коммуникации осуществляется случайным образом.

Агент-ориентированная технология моделирования позволяет, задавая поведение и характеристики агента (т.е. микропараметры системы), наблюдать в динамике макропараметры системы. В ходе моделирования проявляются эффекты, которые невозможно заранее предсказать, как и говорится в [106].

Все проведенные эксперименты показали, что при соблюдении заданных ограничений и правил поведения система является аутопоэтической, т.е. устойчиво функционирующей, циклически воспроизводящей свои компоненты, структуру и организацию.

### **3.4 Методический подход к управлению сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза**

Структурный анализ сетей социальных и экономических коммуникаций и эксперименты с АОМ позволили предложить следующий методический подход к управлению сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза. Логическая взаимосвязь полученных результатов и возможность применения различных типов управления показана на Рисунке 3.31. Указанные на Рисунке 3.31 типы управления подробнее представлены в Таблице 3.22.



Рисунок 3.31 – Методический подход к управлению сетями коммуникаций в экономических и социальных системах, обладающих свойством аутопоэза

Таблица 3.22 – Типы управления

Тип управления	Параметр управления	Целевой параметр
Институциональный ( $u_{In}$ )	Объем финансовых средств в системе ( $K$ )	Длительность коммуникационного этапа (КЭ) – $E_T$ , Вариативность КЭ – $E_S$
	Различные типы финансовых средств ( $K_r, K_v$ )	Длительность КЭ – $E_T$ Вариативность КЭ – $E_S$
Управление составом ( $u_c$ )	Различное число и типы агентов	Длительность КЭ – $E_T$ Вариативность КЭ – $E_S$
Управление структурой ( $u_s$ )	Матрица связей	Поддержка аутопоэза
	Наличие циклических структур	Поддержка аутопоэза в экономических сетях ( $E_B^E$ )
	Соответствие моделям структурного баланса	Поддержка аутопоэза в социальных сетях ( $E_B^S$ )
Управление функционированием ( $u_F$ )	Стратегии поведения агентов ( $\overrightarrow{STR}$ )	Длительность КЭ – $E_T$ Вариативность КЭ – $E_S$

Совокупность возможных типов управления сетями коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза, и полученных зависимостей целевых параметров от параметров управления составляет основу методического подхода к управлению. Вектор управления сетями коммуникаций имеет вид:

$$\vec{u}(t) = [u_{In}, u_c, u_s, u_F], \quad (3.2)$$

где  $u_{In}$  – институциональное управление (управление объемом и типами финансовых средств в системе);  $u_c$  – управление составом (управление количеством и типами агентов, действующих в системе);  $u_s$  – управление структурой (управление связями между агентами);  $u_F$  – управление функционированием (изменение поведения агентов).

$E_T$  – определяет удаленность длительности КЭ от оптимального значения,  $E_S$  – оценивает степень однородности полученных значений,  $E_C$  – коммуникационную эффективность сети, а  $E_B^E$  и  $E_B^S$  – оценки степени аутопоэза в сетях различных типов (экономических и социальных).

Рассмотрим более детально каждый из типов управления.

### 3.4.1 Институциональный тип управления

В данной работе рассмотрены два способа реализации институционального типа управления: изменение объема финансовых средств, оборачивающихся в системе, и ввод в систему второго типа финансовых средств в дополнение к уже существующему (одновременное существование в системе двух типов финансовых средств: реальных и виртуальных).

Деньги в системе поддерживают коммуникации с целью обмена (продажа и покупка товара). Объем финансовых средств в модельной экономической системе пропорционален количеству произведенных продуктов, коэффициент этой пропорциональности (коэффициент обеспеченности деньгами в системе) является управляющим параметром.

Во всех проведенных экспериментах с экономическими моделями было выявлено, что недостаток финансовых средств в системе увеличивает длительность КЭ и его вариативность. Это имеет и определенные социальные последствия. Это показал экономический эксперимент в Шаймуратово. При недостатке финансовых средств в локальной экономической системе наблюдалась высокая социальная напряженность, хотя это не является предметом изучения в данной работе.

Во всех модельных экспериментах при выполнении условия межотраслевого баланса коммуникации завершались успешно, значит, свойство аутопоэза поддерживалось. Зависимость длительности КЭ от объема финансовых средств в системе, определяемого коэффициентом обеспеченности деньгами ( $0 < K \leq 1$ ), хорошо видна на Рисунке 3.32. Вариативность КЭ при недостаточной



обеспеченности деньгами можно увидеть на Рисунке 3.33, где показаны результаты

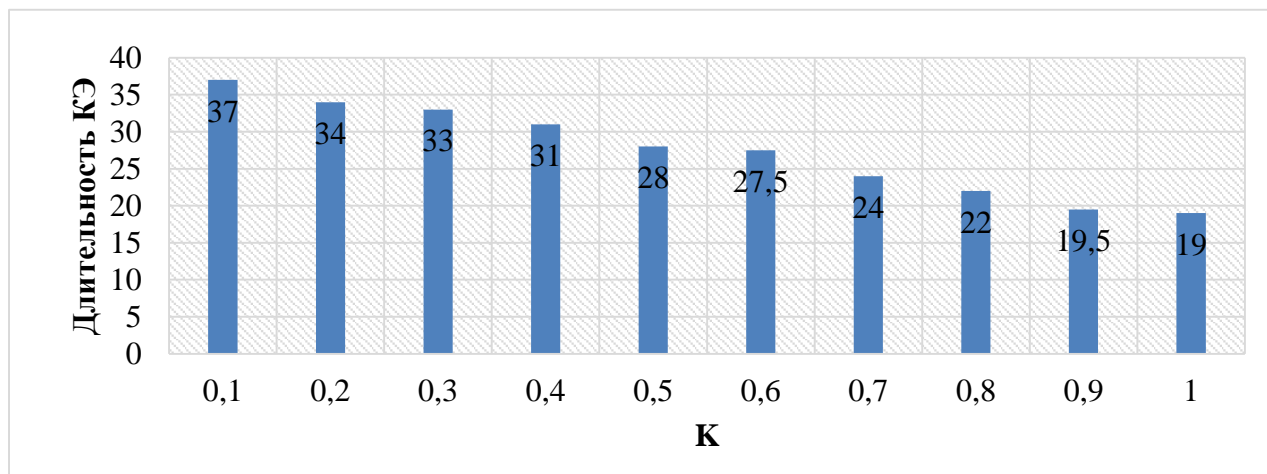


Рисунок 3.32 – Зависимость длительности коммуникационного этапа от объема финансовых средств в системе (третий набор данных)

экспериментов для семиагентной модели с однородными агентами при разной обеспеченности деньгами в системе [30]. Хорошо видно, что при коэффициенте обеспеченности деньгами все обмены происходят в одном и том же максимально возможном значении, в каждом цикле обмена оборачивается один и тот же объем финансовых средств, что приводит к нулевому значению величины стандартного отклонения, а значит и к полной предсказуемости коммуникационного процесса.

Вид коммуникационного процесса также зависит от количества финансовых средств в системе: при недостатке финансовых средств в системе могут наблюдаться кризисные явления, которые проявляются тем отчетливее, чем меньше объем этих финансовых средств.

Второй способ реализации институционального управления связан с вводом внутренних (виртуальных) финансовых средств. Таким образом, в системе одновременно сосуществуют два вида финансовых средств: внешние (реальные) –

которые могут участвовать во всех видах обменных операций, как во внутренних

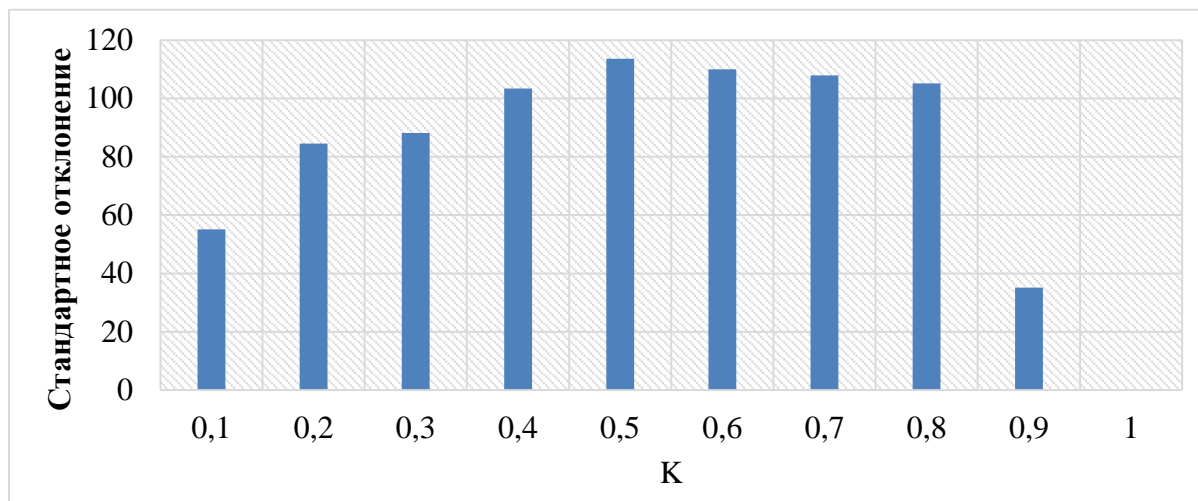


Рисунок 3.33 – Пример изменения значения стандартного отклонения величины финансового оборота в цикле в зависимости от коэффициента обеспеченности финансами в системе [30]

обменах между агентами системы, так и во внешних обменах (обменах с внешней средой), и внутренние (виртуальные) финансовые средства – которые поддерживают только внутренние обмены и обращаются в замкнутых цепях обменов.

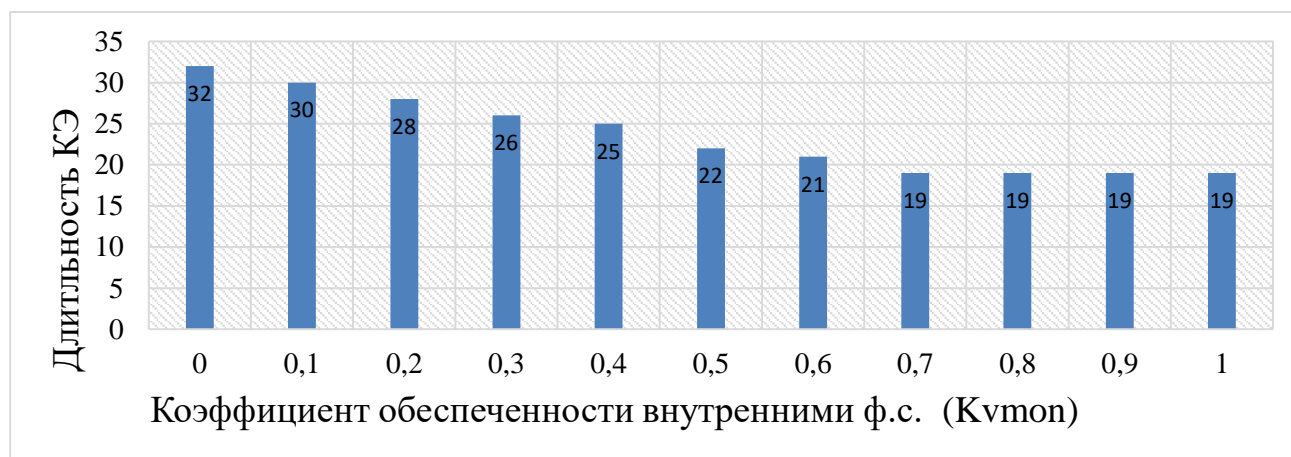


Рисунок 3.34 – Зависимость длительности коммуникационного этапа от объема внутренних финансовых средств в системе (второй набор данных,  $K_{mon}=0,3$ )

Была установлена эффективность такого типа управления, т.к. внутренние финансовые средства в обменных операциях между агентами системы дополняют реальные ф.с. и позволяют оптимизировать коммуникационный процесс, уменьшая его продолжительность. Это подтверждают диаграмма, представленная на Рисунке. 3.34, на которой хорошо видно, как уменьшается длительность

коммуникационного этапа при увеличении присутствия виртуальных финансовых средств в системе. Так при небольшом значении коэффициента обеспеченности внутренними ф.с. ( $K_{\text{мон}}=0,1$ ) критерий эффективности функционирования ( $E_T$ ) равен 63% , то при  $K_{\text{мон}} 0,7$  и выше он достигает максимального значения 100%.

Данный модельный результат был подтвержден экспериментом, проведенным в Шаймуратово, где в местную экономическую систему были введены виртуальные финансовые средства, что дало реальный экономический и социальный эффект, позволило преодолеть кризисные явления.

### 3.4.2 Управление функционированием

Управление функционированием изучалось на основе экспериментов с АОМ экономической системы, в которой реализованы различные стратегии поведения агентов. Таких стратегий было введено 5, они подробно описаны в Табл. 2.8.

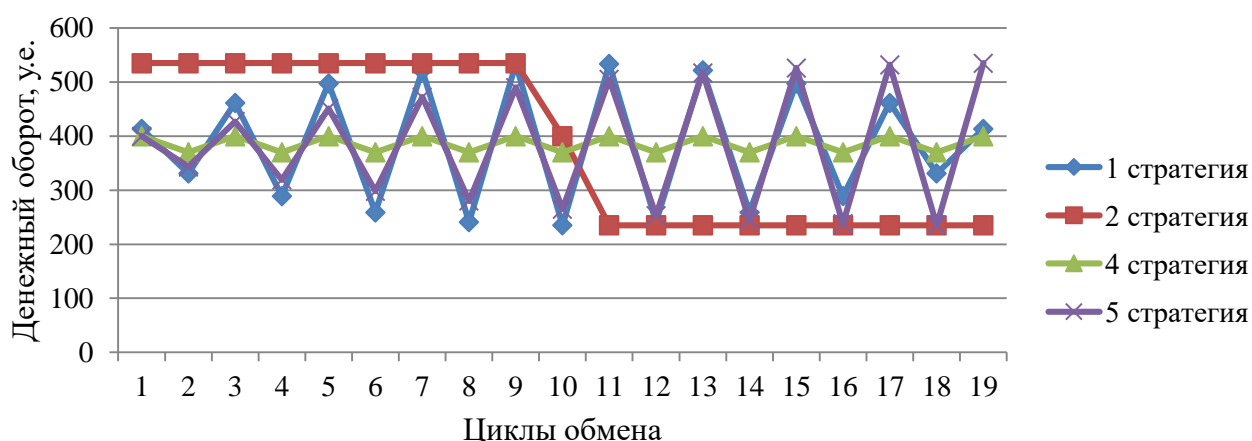


Рисунок 3.35 – Оборот финансовых средств в различных циклах обмена при разных стратегиях поведения агентов

В результате выполнения серий экспериментов с АОМ можно сделать следующие выводы:

- Длительность КЭ (целевой параметр) зависит от поведения агентов, рассматриваемого как параметр управления;
- Оптимальный тип поведения агентов в системе – это последовательная (4 стратегия поведения); если агенты придерживаются этой стратегии поведения, то

длительность КЭ минимальна, также минимален разброс (стандартное отклонение) финансовых средств в циклах обмена в системе (см. Рис. 3.35 и Табл. 3.23);

На основании обнаруженных закономерностей предложены рекомендации по управлению.

Таблица 3.23 – Сравнение эффективности различных стратегий поведения агентов

Стратегия	Стандартное отклонение используемых финансовых средств (S)	$E_T$ (%)
Списковая	115,47	45
Максимальная	150,04	53
Последовательная	15,39	73
Окрестности	115,78	61

По показателю эффективности управления  $E_S$ , применение четвертой стратегии поведения агентами наиболее эффективно. Если рассматривать показатель эффективности управления  $E_T$  (данные соответствуют представленным на Рис. 3.18), то наибольший эффект управления также может быть получен при применении четвертой стратегии.

Если применить другой критерий оптимизации коммуникационного этапа – наиболее раннее начало производства, то оптимальной в этом случае является третья стратегия, позволяющая начать производство до полного удовлетворения потребностей во всех ресурсах.

Следует также отметить, что в условиях достаточной обеспеченности ф.с. ( $K \approx 1$ ) применима любая стратегия, т.к. все они дают одинаково успешные результаты.

### 3.4.3 Управление структурой

Рассмотрение управления структурой следует разделить на управление структурой экономических сетей и управление структурой социальных сетей. Для экономических сетей возможно изменение матрицы связей с поиском наиболее важных связей и выявление циклических контуров в структуре сети. Для социальных сетей проводилось выявление узлов с наибольшей информационной

эффективностью и анализ структуры сети на соответствие моделям структурного баланса.

В экономической сети для поддержания свойства аутопоэза, как было показано в экспериментах, важно наличие циклических контуров. Управление за счет введения или удаления связи (таким образом изменяя матрицу связей) приводит к изменению числа циклических контуров в сети и других параметров. Например, если в сети муниципалитета появляется связь «ферма → автосервис», то в сети вместо 19 циклических контуров появляется 25, если ввести связь «автосервис → ферма», то – 24, а если ввести взаимную связь между этими узлами, то в сети образуется 30 циклических контуров. Ввод же связи «сельхоз. кооператив → ферма» такого приращения числа циклических контуров не дает. Можно утверждать, что существуют более и менее значимые для поддержания аутопоэза связи в структуре системы.

Для социальных сетей были проведены исследования по изменению структуры и ее влиянию на показатель информационной эффективности сети. Для выявления наиболее информационно эффективных узлов были проведены эксперименты по удалению узлов из сети с последующим подсчетом соответствующего показателя. Для рассмотренных сетей академических групп были выявлены такие узлы, хотя в целом сделан вывод о достаточной однородности рассматриваемых сетей.

Для социальных сетей при определении наличия свойства аутопоэза решающим фактором является соответствие теориям структурного баланса. Для этого были получены триадные перечни сетей коммуникаций в академических группах, триадные перечни сетей повторяющихся связей и триадные перечни соответствующих случайных сетей, основанных на графах Эрдеша-Реньи. Проводилось сравнение числа разрешенных в моделях структурного баланса и запрещенных триад, формирующих эти графы. Было установлено, что сети социальных коммуникаций в академических группах соответствуют этим теориям, (особенно хорошо это проявилось для сетей, сформированных повторяющимися коммуникационными связями). При этом также было проведено сравнение со

случайными сетями, и отличие результатов для действительных социальных сетей оказалось статистически значимым (использован критерий  $\chi^2$ ).

### **3.4.4 Управление составом**

Управление составом предполагает возможность изменения количества и типов агентов, действующих в системе. Этот тип управления был реализован в моделях экономических систем. Эксперименты проводились для систем, характеризующихся разным по количеству и свойствам набором элементов (агентов). Агенты в моделях могут отличаться типом: быть внутренними агентами или внешними агентами, могут отличаться своими производственными характеристиками (вектором потребностей в ресурсах, производственной программой, свободным остатком, финансовыми средствами на счету).

В большинстве экономических моделей производственные характеристики агентов были рассчитаны на основе векторного уравнения межотраслевого баланса Леонтьева. Длительность коммуникационного этапа при рассмотренных алгоритмах коммуникаций зависит от количества агентов, а при заданном количестве агентов определяется их типом и производственными характеристиками.

При характеристиках агентов, удовлетворяющих условиям МОБ Леонтьева, коммуникации в системе возобновимы, коммуникационный процесс может циклически повторяться, в системе поддерживается свойство аутопоэза. При изменении производственных характеристик агента (или нескольких агентов), т.е. нарушении условий баланса, система теряет свойство аутопоэза.

## **3.5 Выводы по третьей главе**

1. На основе разработанной методики проведен анализ сетей коммуникаций социальных и экономических систем. При этом показано, что структурные параметры рассмотренных систем указывают на наличие у них свойства аутопоэза.
2. Решающим аргументом в пользу определения наличия свойства аутопоэза в социальных системах является соответствие их структуры моделям структурного баланса. Такое исследование было проведено для социальных сетей академических

групп: для всех коммуникационных связей и для повторяющихся связей. Было выявлено, что более всего соответствуют моделям структурного баланса социальные сети, составленные из повторяющихся связей. Подобное исследование для экономических сетей таких закономерностей не выявило.

3. Для сетей социальных коммуникаций были оценены показатели коммуникационной эффективности. Были также рассчитаны показатели коммуникационной эффективности отдельных узлов, и произведено их сравнение с целью поиска наиболее эффективных в этом отношении узлов. На основе проведенных исследований было показано, что рассмотренные малые социальные группы (академические группы студентов) достаточно однородны по этому показателю.

4. В сетях коммуникаций экономических систем свойство аутопоэза структурно поддержано циклическими контурами. С помощью созданной компьютерной программы такие контуры были выявлены в исследуемых сетях экономических коммуникаций и случайных сетях той же размерности и плотности. Было установлено, что в исследуемых сетях экономических коммуникаций циклические контуры содержатся в значительно большем количестве, чем в случайных сетях. Совокупность циклических контуров следует считать аутопоэтическим структурным паттерном в сети коммуникаций экономической системы. В сетях коммуникаций социальных систем такие контуры встречаются редко, реже чем в случайных сетях той же размерности и плотности.

5. Проведено пять серий различных типов экспериментов с агент-ориентированными моделями, каждая из которых ориентирована на решение определенной задачи. Получены количественные данные, позволяющие определить эффективность рассмотренных типов управления.

6. Результаты расчетов с использованием АОМ верифицированы на основе данных экономического эксперимента. В целом результаты совпали, на практике была доказана польза от ввода внутренних финансовых средств, их влияние на эффективность коммуникационных процессов.

7. Предложен методический подход к управлению сетями коммуникаций в экономических и социальных системах. Были обобщены результаты экспериментов, составлена классификация используемых типов управления. В работе реализованы 4 типа управления (согласно [69]): институциональное управление, управление составом, структурой и функционированием.



## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты:

1. На основе положений кибернетики второго порядка поставлена и формализована задача управления сетью коммуникаций в социальных и экономических системах, обладающих свойством аутопоэза. Определены возможные типы управления: институциональный, управление составом, структурой и функционированием. В качестве основных целевых параметров выбраны длительность и прогнозируемость (отсутствие вариативности) коммуникационного процесса – для сетей экономических коммуникаций, информационная эффективность сети – для сетей социальных коммуникаций, и обеспечение самовоспроизводимости (т.е. поддержание свойства аутопоэза) – для сетей обоих типов). В качестве параметров управления используются объем и типы финансовых средств в системе, стратегии поведения агентов, их производственные характеристики и структура связей между агентами.;
2. Разработана методика структурного анализа сетей коммуникаций в экономических и социальных системах. Методика создана на основе SNA-методологии, в ней определены набор параметров и техники определения возможности поддержания свойства аутопоэза сетью коммуникаций. В набор параметров включены стандартные параметры, определяющие размер и плотность сети, а также параметры, характеризующие ее сплоченность и однородность. В качестве техники определения возможности поддержания свойства аутопоэза предложен анализ наличия соответствующих типу сети (экономическая или социальная) структурных паттернов.
3. Создан программный продукт, позволяющий информационно поддержать разработанную методику. В данной программной среде реализованы функции по визуализации сети, вычислению ее параметров, определенных методикой, а также нахождению циклических контуров, которые в экономических сетях образуют аутопоэтический структурный паттерн.

4. Разработан комплекс программных агент-ориентированных моделей производственных агентов, вступающих в экономические коммуникации друг с другом с целью обеспечения друг друга ресурсами и выпуска продукции в нужном объеме. Каждая из пяти моделей, входящая в комплекс, решает конкретную задачу и ориентирована на реализацию одного или нескольких типов управления. Базовая модель, модель муниципалитета и модель открытой системы позволяют исследовать различные реализации институционального типа управления; модель стратегий ориентирована на изучение управления функционированием; во всех моделях комплекса реализована возможность исследования управления структурой и составом. Производственно-коммуникационная модель позволяет изучить условия, при которых система теряет свойство аутопоэза;
5. Предложен методический подход по использованию различных типов управления коммуникациями в экономических и социальных системах. Для экономических систем эффективными типами управления можно считать: институциональный тип управления, управление составом, управление структурой и управление функционированием. При применении институционального типа управления и управления составом были выявлены зависимости длительности и прогнозируемости коммуникационного этапа от количества и типа используемых в обороте финансовых средств, определены условия поддержания аутопоэза в системе. Управление функционированием помогло определить оптимальные виды поведения экономических агентов. Управление структурой позволяет определить наиболее значимые с точки зрения коммуникационной эффективности узлы и связи в системе, а также подтвердить возможность поддержания свойства аутопоэза.
6. Доказана эффективность использования внутренних финансовых средств в экономической системе (локальном сообществе), которые уменьшают длительность коммуникационного этапа в полтора раза (при коэффициенте обеспеченности внешними финансовыми средствами в 30-40%).

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, АББРЕВИАТУР И ТЕРМИНОВ

АС – аутопоэтическая система

АОМ – агент-ориентированная модель

КЭ – коммуникационный этап

МОБ – межотраслевой баланс

ОС – организационная система

Ф.С. – финансовые средства

B2B (Business to Business) – бизнес для бизнеса

B2C (business to customer) – бизнес для потребителя

SNA – Social Network Analysis – Анализ социальных сетей

TQM – Total Quality Management – Всеобщий контроль качества

$C_d(n_i)$  – показатель центральности по степени  $i$ -го узла неориентированной сети

$C_d(n_{+i})$  – показатель входной центральности по степени  $i$ -го узла ориентированной сети

$C_d(n_{i+})$  – показатель выходной центральности по степени  $i$ -го узла ориентированной сети

$C_c(n_i)$  – показатель центральности по близости  $i$ -го узла сети

$C_B(n_i)$  – показатель центральности по посредничеству  $i$ -го узла сети

$C_A^F$  – показатель централизации Фримана

$C_{E-I}$  – E-I индекс

D – диаметр сети

$E_c$  – показатель коммуникационной эффективности сети

$K_M$  – коэффициент взаимности

$K_C$  – коэффициент кластеризации

$C_{E-I}$  – E-I индекс

$\vec{T}$  – триадный перечень сети

X – социоматрица (оргматрица)

$\Delta$  – плотность сети

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авилов К.К. и Соловей О.Ю.** Агентные модели: анализ подходов и возможности приложения к эпидемиологии //Математическая биология и биоинформатика. –2012. – № 2. – Т. 7. – с. 425-443.
2. **Акопов А.С.** Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата М.: Издательство Юрайт, 2015.– стр. 389. (Серия : Бакалавр. Академический курс).
3. Алгоритмы на С++. Лекция №18. Поиск на графе [Электронный ресурс] //Интуит. Национальный открытый университет. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/12181/1174/lecture/25265?page=6>.
4. **Амплби Стюарт А.** Кибернетика концептуальных систем [Электронный ресурс] // The George Washington University Режим доступа://[www2.gwu.edu/~umpleby/recent\\_papers/1994\\_cybernetics\\_of\\_conceptual\\_systems\\_rus.htm](http://www2.gwu.edu/~umpleby/recent_papers/1994_cybernetics_of_conceptual_systems_rus.htm).
5. **Бахтизин А.Р.** Агент-ориентированные модели экономики /А.Р.Бахтизин – М.: Экономика, 2008. – 234 с.
6. **Безрукова О.Н.** Сеть как условие экономического действия [Статья]. г.. - //Экономическая социология. – 2004. – № 3. –Т. 5.
7. **Берг Д.Б., Зверева О.М.** Особенности коммуникаций между функционально сопряженными агентами производственной сети //Вестник СибГУТИ. – Новосибирск. – 2015. – № 1.– с. 82-96.
8. **Биккулов А.С., Чугунов А.В.** Сетевой подход в социальной информатике: моделирование социально-экономических процессов и исследования в социальных сетях /А.С. Биккулов, А.В. Чугунов. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2013. – 124с.
9. **Борщев А. В.** Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика [Электронный ресурс] // Exponenta Pro. Математика в приложениях #3-4 (7-8), 2004. Режим доступа://[www.exponenta.ru/](http://www.exponenta.ru/).
10. **Борщев А.В.** Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз //Презентация пленарного доклада, Седьмая

всероссийская научно-практическая конференция "ИММОД-2015". – Москва, 2015.

11. **Варламов А.Д., Горина Е.Е.** Обработка результатов социометрии с применением аналитических методов исследований //Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012 г. – № 20. – с. 9-18.
12. **Василик М.А.** Основы теории коммуникации. Учебник / М.А. Василик. –М.: Гардарики, 2003. – 615 с..
13. **Винер Н.** Кибернетика или управление и связь в животном и машине /Н. Винер. – М.: Наука, 1983. –338с.
14. **Владимирова М.П., Козлов А.И..** Деньги, кредит, банки: учебное пособие /М.П. Владимирова, А.И. Козлов. – Москва: КНОРУС, 2006. – 288с.
15. **Власов В.В.** О трактовании понятий «региональный» и «локальный» рынок //Социально- экономические явления и процессы. – 2011. – № 11(033).– с. 56-59.
16. **Гойхман О.Я.** Коммуникативистика в современном обществе //НИР. Современная коммуникативистика, 2012. № 1.– с. 4-8.
17. Гомеостаз [Электронный ресурс] //Википедия. Электронная энциклопедия. Режим доступа://ru.wikipedia.org/wiki/Гомеостаз/.
18. **Горский Ю.М.** Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем /Ю.М. Горский. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 350 с.
19. **Градосельская Г. В.** Сетевые измерения в социологии: Учебное пособие /Под ред. Г. С. Батыгина. –М.: Издательский дом «Новый учебник», 2004. – 248 с.
20. **Гришанов Г.М. и Павлов О.В.** Исследование систем управления /Учебное пособие. – Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2005. – 128с.
21. **Гуриев С. М.** Три источника – три составные части экономического империализма //Общественные науки и современность. – 2008.– № 3. – с. 134-141.

22. **Давлетбаев Р.** Альтернативная экономика: феномен Шаймуратова [Электронный ресурс] // Концептуал.. Режим доступа: [//концептуал.рф/alternativaya-ekonomika-fenomen-shaymuratovo](http://концептуал.рф/alternativaya-ekonomika-fenomen-shaymuratovo).
23. **Демина И. Н.** Место и роль коммуникации в бизнес-процессах // Известия ИГЭА. – 2012. – 2 (82).
24. **Демина И. Н.** Экономическая коммуникация. Обоснование термина // Известия ИГЭА. – 2012. – № 1 (81).
25. **Друкер П. Ф.** Новые реальности в правительстве и политике, в экономике и бизнесе, в обществе и мировоззрении: Пер. с англ. – Москва : Бук Чембэр Интернэшнл, 1994, – 380с.
26. **Думная Н. Н.** Драма российской экономической теории - акт второй? // Вестник Финансового университета. – 2000. – № 1. – с. 99-107.
27. **Думная Н. Н.** Системы и системность в экономической теории // Вестник Финансового университета. – 2000. – № 4. – с. 25-30.
28. **Думная Н. Н.** Экономическая теория: некоторые методологические аспекты // Вестник финансового университета. – 2005. – № 4. – с. 3-25.
29. **Зверева О.М. и др.** Сравнительный анализ структуры локальных предпринимательских сетей. // Управление экономическими системами. Электронный научный журнал. № 8, 2016. Режим доступа: [//uecs.ru/index.php?option=com\\_flexicontent &view=items&id=4056](http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=4056).
30. **Зверева О.М., Берг Д.Б.** Агент-ориентированная модель коммуникаций экономической системы в условиях межотраслевого баланса Леонтьева // Научно-технические ведомости СПбПУ. Информатика. Коммуникации. Управление. – 2013 – № 6(декабрь). – с. 77-86.
31. **Зверева О.М.** Использование мер центральности при анализе аутопоэтических структур в социальных системах [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. №2 (часть 1). – 2015. Режим доступа: [//www.science-education.ru/122-21176](http://www.science-education.ru/122-21176).

32. **Зверева О.М.** Создание концептуальной модели данных в нотации ORM //Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2012. Спецвыпуск. – с. 105-111.
33. **Игнатова М.А., Селезнева Н.А., Ульянова Е.А.** Муниципальная экономика: модель финансовой сети внутреннего рынка/М.А.Игнатова и др. //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2.
34. **Казанский А. Б.** Биосфера как аутопоэтическая система: биосферный бутстрап, биосферный иммунитет и человеческое общество //Экогеософский альманах. – 2003. – № 3. – с. 182-204.
35. **Казанский А. Б.** Биосфера: самораскрытие путем созидания //Мудрость дома Земля: О мировоззрении XXI века. Экогеософский альманах. – 2003. Вып. 4-5.
36. **Калашников М.** Организационное оружие Водянова [Электронный ресурс] //Открытая электронная газета Forum.msk.ru. Режим доступа://forum-msk.org/material/economic/627694.html.
37. **Канеман Д., Словик П., Тверски А.** Принятие решений в неопределенности /Д.Канеман и др. – Харьков: Издательство Институт прикладной психологии «Гуманитарный Центр», 2005. – 632с.
38. **Кастельс М.** Информационная эпоха: экономика, общество и культура. Пер. с англ. под науч. ред. О. И. Шкаратана. – М. : Гос. ун-т. Высш. шк. экономики, 2000.
39. **Кашкин В.Б.** Введение в теорию коммуникации: учебное пособие /В.Б.Кашкин. – М.: Наука: Флинта, 2013. – 224с.
40. **Клейнер Г. Б.** От теории предприятия к теории стратегического управления //Российский журнал менеджмента. – 2004. – № 1. – Т. 1.
41. **Ковчegov В.Б.** Модель динамики групповых структур человеческих сообществ //Социология 4М. – 1991. – Т.1. с. 75-98.
42. **Кожевников Н.Н. и Пашкевич Н.Л.** Глокализация: концепции, характерные черты, практические аспекты //Вестник ЯГУ. – 2005. – № 3. – Т. 2. – с. 111-115.
43. **Кузин К.Б.** Функционирование локальных сообществ в мегаполисе [Электронный ресурс] //НИМ «интересы и потребности локальных

- сообществ». . Режим доступа: [//euis.mgsu.ru/organizations/RealizDogovorov/realizatsiya-2009/2009-4-polnye/11.4.1.14-potr-lokalnih-soobchestv](http://euis.mgsu.ru/organizations/RealizDogovorov/realizatsiya-2009/2009-4-polnye/11.4.1.14-potr-lokalnih-soobchestv).
44. **Лепский В. Е.** Парадигмы управления в контексте научной рациональности. //Рефлексивные процессы и управление.— 2008.— №2. — Т.8— С.30-43 .
45. **Лепский В. Е.** Становление субъектно-ориентированного подхода в контексте развития представлений о научной рациональности //Наука и социальная картина мира. К 80-летию академика В.С.Степина; под ред. В.И.Аршинова, И.Т.Касавина. — М.: Альфа-М.—2014. — Т. — с.392-420.
46. **Лепский В. Е.** Философия и методология управления в контексте развития научной рациональност //XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. — Москва. — 2014. — с. 7785-7796.
47. **Лефевр В. А.** Кибернетика второго порядка в Советском Союзе и на западе //Рефлексивные процессы и управление . — 2002. — № 1. — Т. 2. — с.96-103.
48. **Лефевр В. А.** Рефлексия /В.А. Лефевр. — М.: Когито-Цетр, 2003. — 406с.
49. **Лиетар Бернар А.** Будущее денег: новый путь к богатству полноценному труду и более мудрому миру /Бернар А. Лиетар. —М. : КРПА Олимп, 2007. — 493с.
50. **Лукша П.О.** Самовоспроизводство в эволюционной экономике /П.О.Лукша. — Санкт-Петербург: Алетейя, 2009. — 208с..
51. **Луман Н.** Общество как социальная система /Н.Луман. — М.: Логос, 2004. — 232с..
52. **Луман Н.** Социальные системы. Очерк общей теории /Н.Луман. — Санкт-Петербург : Наука, 2007. — 643с.
53. **Макаров В. Л.** Искусственные общества //Экономика и математические методы. — 2012. — №3. —Т. 48. — с. 3-20.
54. **Макаров В.Л., Бахтизин А.Р.** Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели) / В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин. — М. : Экономика, 2013. — 295 с.
55. **Мальцева Д.В.** Реляционная социология: новый этап в развитии анализа социальных сетей или самостоятельное направление? //Мониторинг общественного мнения. — июль-август 2014. — № 4 (122). — с. 3-14.



56. **Мальцева Д.В.** Сетевой подход в социологии: генезис идей, современное состояние и возможности применения //Диссертация на соискание ученой степени кандидата социологических наук. – М.: ГОУ ВПО "Российский государственный гуманитарный университет", 2014. –159с.
57. **Марковская И.М.** Социометрические методы в психологии: Учебное пособие /И.М. Марковская. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999.– 46 с.
58. **Матурана У.** Биология познания //Язык и интеллект. /Пер. с англ. и нем. . –М.: Издательская группа "Прогресс", 1996.
59. **Мау В. А.** Глобальный кризис:опыт прошлого и вызов будущего //Экономическая политика. – 2009. – № 4. – с.47-61.
60. **Мау В. А.** Экономические кризисы в новейшей истории России // Экономическая политика. – 2015. – № 2. – Т. 10. – с. 7-19.
61. **Методы сбора социологической информации** [Электронный ресурс] // Энциклопедия экономиста. Режим доступа: [//www.grandars.ru/college/sociologiya/sbor-sociologicheskoy-informacii.html](http://www.grandars.ru/college/sociologiya/sbor-sociologicheskoy-informacii.html).
62. **Митусов М.О., Генкин А.С.** К вопросу о жизнеспособности локальных дополнительных экономик в новом мире // Мир новой экономики. – 2012. – № 1-2. – с. 28-32.
63. **Моев В. А.** Бразды управления. Диалог с академиком Глушковым. – М.: Политиздат, 1977.– Издание 2-е. – 256с.
64. **Моисеев В. И.** Субъектные саморазвивающиеся среды: некоторые подходы и модели [Электронный ресурс]// Интелрос. Интеллектуальная Россия. Режим доступа:[//www.intelros.ru/pdf/Lepskiy/08.pdf](http://www.intelros.ru/pdf/Lepskiy/08.pdf).
65. **Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.** Рефлексия и управление: математические модели /Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2013. –412 с.
66. **Новиков Д. А.** Кибернетика: навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы. – М.: ЛЕНАНД, 2015. (Серия "Умное управление").
67. **Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.** Активный прогноз /Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: ИПУ РАН, 2002.

68. **Новиков Д.А.** Методология управления. Серия "Умное управление". – М.: Либроком, 2011. – 128с.
69. **Новиков Д.А.** Теория управления организационными системами. 3-е изд., испр. и дополн. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604с.
70. **Ольсевич Ю.Я.** Современный кризис «мейнстрима» в оценках его представителей (предварительный анализ) /Ю.Я. Ольсевич. – М.: Институт экономики РАН, 2013. – 46 с.
71. **Орлов А. И.** Неформальная информационная экономика будущего [Электронный ресурс]. Режим доступа: [//forum.orlovs.pp.ru/viewtopic.php?f=2&t=570](http://forum.orlovs.pp.ru/viewtopic.php?f=2&t=570) .
72. **Орлов А. И.** Проблемы методологии государственной политики и управления в неформальной информационной экономике будущего //Научный журнал КубГАУ. – №88(04). – 2013.
73. **Орлов А.И.** Роль солидарной информационной экономики в модернизации России [Электронный ресурс]. Режим доступа: [//pandia.ru/text/78/560/66371.php](http://pandia.ru/text/78/560/66371.php).
74. **Орлова М.Ю.** Структурный анализ малых групп (Использование метода социометрии в психодиагностике): Учебно-методическое пособие для студентов 3 курса факультета психологии. /А.И. Орлов – Владивосток : ДВГМА им. адм. Г. И. Невельского, 1998.
75. **Парыгин Б. Д.** Социальная психология. Проблемы методологии, истории и теории /Б.Д. Парыгин. – СПб.: ИГУП, 1999. –592 с.
76. **Петровский А.В., Ярошевский М.Г.** Психология. Словарь. – 2-е изд., испр. и доп. /А.В. Петровский, М.Г. Ярошевский. – М.: Политиздат, 1990. – 494с.
77. **Полтерович В. М.** Кризис экономической теории: доклад на семинаре "Неизвестная экономика" в ЦЭМИ РАН [Электронный ресурс]. Режим доступа: [//mathecon.cemi.rssi.ru/vm\\_polterovich/files/Crisis\\_Economic\\_theory.pdf](http://mathecon.cemi.rssi.ru/vm_polterovich/files/Crisis_Economic_theory.pdf).
78. **Полтерович В. М.** Становление общего социального анализа //Общественные науки и современность. – №2. –2011. –101-111с.
79. **Почепцов Г.Г.** Теория коммуникации /Г.Г.Почепцов. – М.: «Рефл-бук», К.: «Ваклер», 2001. – 656с.

80. **Радаев В.В.** Рынок как переплетение социальных сетей //Российский журнал менеджмента. – 2008. – № 2. – Т. 6. – с. 47–54.
81. **Руденков И. А.** Теоретические основы экономической политики государства в контексте глобального экономического кризиса [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.bsu.by/Cache/PDF/389313.pdf](http://www.bsu.by/Cache/PDF/389313.pdf).
82. **Сетевые сообщества** [Электронный ресурс] //Сообщества.ру Режим доступа://[www.soobshchestva.ru/wiki/SetevoeSoobshchestvo/](http://www.soobshchestva.ru/wiki/SetevoeSoobshchestvo/).
83. **Симонов П. М., Шульц Д. Н., Шульц М. Н.** Эволюции теории общего экономического равновесия //Вестник Пермского университета. Экономика. – 2012. – № 3(14).
84. **Соколов А. В.** Общая теория социальной коммуникации: Учебное пособие /А.В.Соколов, 2002. – СПб. : Изд-во Михайлова В. А.,– 461 с.
85. **Спицнадель В. Н.** Основы системного анализа /В.Н.Спицнадель. –СПБ : Изд. дом Бизнес - Пресса, 2000. – 326с.
86. Сравнение средств разработки для создания мультиагентных систем [Электронный ресурс] //Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа://[ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение\\_средств\\_разработки\\_для\\_создания\\_мультиагентных\\_систем](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение_средств_разработки_для_создания_мультиагентных_систем).
87. **Теория социального обмена** [Электронный ресурс] //Психологическая энциклопедия. Режим доступа://[dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_psychology/1127/Теория/](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_psychology/1127/Теория/).
88. **Теория Э. Мэйно** [Электронный ресурс] // Psylist.net. Режим доступа://[www.psylist.net/socpsy/00009.htm](http://www.psylist.net/socpsy/00009.htm).
89. **Теслер Г. С.** Новая кибернетика как фундаментальная наука. // Математические машины и системы. – 2005. –№ 4.
90. **Унци Б.** Источники и последствия укорененности для экономической эффективности организаций: влияние сетей // Экономическая социология. – Май 2007. . –№ 3. . – Т. 8.
91. **Философский энциклопедический словарь.** . – М. : Советская энциклопедия, 1983. – 836с.

92. **Фукуяма Фрэнсис.** Великий разрыв /Ф.Фукуяма. – М. : АСТ, 2003. – 173с.
93. **Хайкин М.М., Крутик А.Б.** Социальный капитал и социальные сети //Вестник ЮУрГУ. Серия "Экономика и менеджмент". – 2014. – № 1. – Т. 8. –85-92 с.
94. **Харитонов В. А., Алексеев А. О.** Концепция субъективно-ориентированного управления в социальных и экономических системах // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 109 (05).
95. **Хиценко В. Е.** Несколько шагов к новой системной методологии [Электронный ресурс] //Сертиком. Режим доступа://www.certicom.kiev.ua /hitzenko.html.
96. **Худокормов А.** Современная экономическая теория запада [Электронный ресурс] // Экономический портал. Режим доступа://institutiones.com/theories/1044-sovremennaya-ekonomicheskaya-toriya-zapada.html.
97. **Худокормов А.Г.** Развитие экономической мысли через ее периодические кризисы (к вопросу об общем принципе эволюции мировой экономической теории в XX веке) /А.Г. Худокормов. – М.: Институт экономики РАН, 2012.
98. **Что такое синергетика** [Электронный ресурс] //Biofile.ru. Режим доступа://biofile.ru/bio/21420.html.
99. **Шевандрин Н.И.** Социальная психология в образовании: Учеб. пособие. Ч. 1. Концептуальные и прикладные основы социальной психологии. – М.: ВЛАДОС, 1995. – 544с.
100. **Achterbergh Jan, Vriens Dirk** Organizations. Social Systems Conducting Experiments. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 379p.
101. **Ashby W.Ross.** An Introduction to Cybernetics. London : Chapman & Hall Ltd., 1957. –295p.
102. **Berg D.B., Zvereva O.M., Shelomentsev A.G., Taubayev A.** Autopoietic structures in local economic systems. //15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015. Ecology, Economics, Education and Legislation. Conference Proceedings. Volume I. ISSN 13142704. –June 2015. –pp. 109-117.
103. **Berg D.B., Y.Y. Nazarova, O.M. Zvereva, R.H.Davletbaev.** The detailed structure of local entrepreneurial networks: experimental economic study. //Communications

- in Computer and Information Science. Publ. by Springer. ISSN 1865-0937. –2016. – Vol. 661. –pp. 73-82.
104. **Berg Dmitry** Rustam Davletbaev, Olga Zvereva , Dmitry Nodjenko. The model of localized business community economic development under limited financial resources: computer model and experiment. [Электронный ресурс] //1st International Conference on Sustainable Cities (ICSC). ISSN 2267-1242. –Vol.6. – 2016. Yekaterinburg. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20160601001>.
  105. **Berg Dmitry B.**, Zvereva Olga M. Identification of Autopoietic Communication Patterns in Social and Economic Networks // Analysis of Images, Social Networks and Texts. 4th International Conference, AIST 2015 Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015. Revised Selected Papers /M. Yu. Khachay, Natalia Konstantinova, Alexander Panchenko, Dmitry I. Ignatov, Valeri G. Labunets (Eds.). Springer International Publishing Switzerland. – 2015.
  106. **Bonabeau E.** Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. –2002. –Vol. 99 (3). – Pp. 7280-7287.
  107. **Bonacich P.** Power and Centrality: A Family of Measures // American Journal of Sociology. –March 1987. – № 5. Vol. 92. – pp. 1170-1182.
  108. **Borgatti Stephen P.** Centrality and network flow // Social Networks.– 2005. – №27. – pp. 55-71.
  109. **Borill Paul L., Testfatsion L.** Agent-Based Modeling: The Right Mathematics for the Social Sciences. [Электронный ресурс] //Working Paper № 10023. – 2010. Режим доступа: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ABMRrightMath.PBLTWP.pdf>
  110. **Burt Ronald S.** Structural Holes and Good Ideas. American Journal of Sociology. –2004. –Vol.10. –№ 2. –pp. 349-399.
  111. **Cartwright D., Harary F.** Structural Balance: A Generalization of Heider's Theory //Psychological Review. –1956.– № 5. – Vol. 63. – pp. 277-293.

112. **Casti John L.** Would-Be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science. – New York, NY : John Wiley and Sons. – 1997.
113. **Coleman J. S.** Social Capital in the Creation of Human Capital //The American Journal of Sociology. – 1988. – Vol 94. – pp. 95-120.
114. **Costa L. da F & etc.** Characterization of complex networks: A survey of measurements. //Advances in Physics. –2007. –pp.167-242. DOI: 10.1080/00018730601170527.
115. **Davis James A., Leinhardt S.** The Structure of Positive Interpersonal Relations in Small Groups // Sociological Theories in Progress /Edited by Joseph Berger Morris Zeldith Jr., and Bo Anderson. Boston: Houghton Mifflin, 1972. – Vol. 2.
116. **Davis Douglas D., Holt Charles A.** Experimental Economics: Princeton University Press, 1993. – 584 p.
117. **Davis James A.** Clustering and Hierarchyin Interpersonal Relations: Testing Two Graph Theoretical Models on 742 Sociomatrices //American Sociological Review.– 1970. – № 35(5). – pp. 843–851.
118. **Davis James A.** Clustering and structural balance in graphs // Human Relations . –1967. – Vol.20. – pp.181-188..
119. **Davis James A., Leinhardt S.** The Structure of Positive Interpersonal Relations in Small Groups // Sociological Theories in progress / Auth. Morris Zeldith Jr. and Bo Anderson Vol. 2, edited byJ oseph Berger. – Boston: Houghton Mifflin, 1972.
120. **De Nooy W., Mrvar A. & Batagelj V.** Exploratory Network Analysis with Pajek. – The Edinburgh Building, Cambridge : Cambridge University Press , 2005. – 334p.
121. **Devavrat Shah, Zaman Tauhid.** Community Detection in Networks: The Leader-Follower Algorithm [Электронный ресурс]. Режим доступа://snap.stanford.edu/nipsgraphs2010/Home\_files/16\_zaman\_NIPS10\_workshop\_v2.pdf.
122. **Dutta Prajit K., Radner Roy.** Profit Maximization and the Market Selection Hypothesis , No. 4 //The Review of Economic Studies. – Oct. 1999. –Vol. 66. – pp. 769-798.

123. **Epstein J. M., Axtell R. L.** Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. – Cambridge, MA : MIT Press, 1996.
124. **Everett Martin G., Borgatti Stephen P.** Networks containing negative ties // Social Networks. – № 38. – 2014. –pp. 111–120.
125. **Faust K.** A puzzle concerning triads in social networks: Graph constraints and the triad census. //Social Networks, 32. – 2010. – pp.221–233.
126. **Faust K.** Comparing Social Networks: Size, Density, and Local Structure. //Metodološki zvezki. – Vol.2. – 2006. – pp.185-216.
127. **Faust K.** Very Local Structure in Social Networks. //Sociological Methodology. – December, 2007. – Volume 37. – Issue 1. – pp-209-256.
128. **Faust K., Wasserman S.** Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, – 430p.
129. **FIPA** [Электронный ресурс] // The Foundation for Intelligent Physical Agents. - 2016 г.. - 23 01 2016 г.. Режим доступа://www.fipa.org/.
130. **Freeman L. C.** Social networks and the structure experiment. White D.R. and Romney A.K. (eds.) Freeman L.C. Research Methods in Social Network Analysis. Fairfax, VA: George Mason University Press, 1989, pp. 11-40
131. **Freeman L. C.** Centrality inSocial Networks: Conceptual Clarification //Social Networks, – 1978/79. – № 1. – pp. 215-239.
132. **Freeman L. C.** The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science. Vancouver, CA: Empirical Press. 2004, – 205p.
133. **Gesell S.** The Natural Economic Order (translation by Philip Pye). – London: Peter Owen Ltd., 1958. – 207p.
134. **Granovetter M.** Getting a Job: A Study of Contacts and Careers. – Harvard University Press: Cambridge, 1974.
135. **Grimm Volker et. al.** A standard protocol for describing individual-based and agent-based models //Ecological Modelling. – 2006. – №198. –pp. 115-126.
136. **Hahn F.** Neoclassical Growth Models. In: The New Palgrave: A Dictionary of Economics.– London: The Macmillan Press, 1988. – Vol. 3.

137. **Hall William P.** Physical Basis for the Emergence of Autopoiesis, Cognition and Knowledge // Kororit Institute. Working Paper No. 2. –2011.
138. **Hall William P., Nousala Susu.** Autopoiesis and Knowledge in Self-Sustaining Organizational Systems //Proceedings of the 4th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2010. – Orlando, Florida, USA. – June 2010.
139. **Harary F., Norman R.Z., Cartwright D.** Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs. – New York, London, Sydney : John Willey and Sons. –1965.
140. **Hashimoto Wataru.** Autopoiesis, Observation and Informatics: Lessons from the Development of Autopoietic Systems Theory in Japan. 2011 г.. - Journal for a Global Sustainable Information Society. – № 2. – Vol 9. – 2011. – pp. 414-423.
141. **Heider F.** The psychology of interpersonal relations. – New York : John Wiley, 1958.
142. **Heider Fritz.** Attitudes and Cognitive Organization //Journal of Psychology. – 1946. – №- 21. – pp.107-112.
143. **Holland P. W., Leinhardt S.** Dynamic-model for social networks //Journal of Mathematical Sociology. – № 5. –1975. –pp.5-20.
144. **Holland P.W., Leinhardt S.** A method for detecting structure in sociometric data // American Journal of Sociology. – Vol.76.–1970. –pp. 492-513.
145. **Holland Paul W., Leinhardt S.** Transitivity in Structural Models of Small Groups //Comparative Group Studies. – 1972. – pp.107-124.
146. **Jennings Nicholas R.** On agent-based software engineering // Artificial Intelligence. Elsevier Science B.V. –№117. –2000. –pp. 277–296.
147. **Johnsen Eugene C.** Network Macrostructure Models for the Davis-Leinhardt Set of Empirical Sociomatrices //Social Networks. – № 7. –1985. –pp.203-224.
148. **Katz N., et. al.** Network Theory And Small Groups //Small group research. –2004. – № 3. –Vol. 35. – pp.307-332.
149. **Kawamoto H.** Ôtopoiêshisu: Daisan-sedai Shisutemu (Autopoiesis: The Third Generation Systems). – Tokyo : Seidosha, 1995.



150. **Kovchegov V.B.** Human Societies Group Structures Dynamics Model // Sociology: Methodology, Methods, Mathematical Modeling. – 1991. – № 1. – Vol.1. – pp.75-98.
151. **Krackhard David.** Graph Theoretical Dimensions of Informal Organizations // Cathleen Carley & Michael Prietula (eds.), Computational Organizational Theory. – Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.. 1994. – pp.89-111.
152. **Krackhardt David.** The Ties That Torture: Simmelian Tie Analysis In Organisation // Research in Sociology of Organisations. – 1999. – Vol. 16. – pp. 183-210.
153. **Krackhardt David.** Simmelian Tie: Super Strong and Sticky. In Roderick Kramer and Margaret Neale (eds.) Power and Influence in Organizations. – Thousand Oaks, CA: Sage, 1998. – pp.21-38.
154. **Krackhard David, Stern Robert N.** Informal Networks and Organizational Crises: An Experimental Simulation // Social Psychology Quarterly. – 1988. – № 2. – Vol. 51. – pp. 123-140.
155. **Krugman Paul.** How Did Economists Get It So Wrong? Mistaking Beauty For Truth. The New York Times Magazine. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [//www.nytimes.com/2009/09/06/magazine/06Economic-t.html](http://www.nytimes.com/2009/09/06/magazine/06Economic-t.html).
156. **Luhmann N.** The Autopoiesis of Social Systems [Раздел книги] // Sociocybernetic Paradoxes: Observation, Control and Evolution of Self-Steering Systems / Auth. Zeuwen, eds. F. Geyer. London: Sage, 1986.
157. **Luhmann Nicklas** Ecological Communication Cambridge, MA: Polity Press, 1989.
158. **Luhmann Nicklas.** Insistence on Systems Theory: Perspectives from Germany – An Essay [Статья] // Social Forces. – 1999. – №4. – Vol. 61. – pp. 987-998.
159. **Luhmann Nicklas.** Law as a social system // Northwestern University Law Review. – 1989. – № 83. – pp. 136-150.
160. **Lytinen S. L., Railsback S. F.** The Evolution of Agent-based Simulation Platforms: A Review of NetLogo 5.0 and ReLogo // Proceedings of the Fourth

- International Symposium on Agent-Based Modeling and Simulation. – Vienna, Austria. – 2012.
161. **Macal C. M., North, M. J.** Agent-Based Modeling and Simulation // Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. – 2009. – pp. 86-98.
  162. **Macal C.M. и North M.J.** Tutorial on agent-based modelling and simulation // Journal of Simulation. – 2010. – № 4. – pp.151–162.
  163. **Maturana H. R., Varela F. J.** The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding. – Boston and London : Revised Edn., Shambhala, 1998.
  164. **Maturana H. , Varela F. J.** Autopoiesis and Cognition. The realization of the living [Раздел книги] // Boston Studies in the Philosophy of Science / Auth. Cohen Robert S., and Marx W. Wartofsky (eds.). – Dordrecht: D. Reidel Publishing Co, 1980. – Vol.42.
  165. **Mirowski P. J.** More Heat Than Light: Economics As Social Physics: Physics As Nature's Economics. – Cambridge University Press, 1989.
  166. **Neumann J., Burks A..** Theory of Self-Reproducing Automata. – Urbana, IL: University of Illinois Press, 1966.
  167. **Newman J.** Small Worlds: The Structure of Social Networks [Электронный ресурс] // Santa Fe Institute. Режим доступа: [www.santafe.edu](http://www.santafe.edu).
  168. **Nikolai Cynthia, Madey Gregory.** Tools of the Trade: A Survey of Various Agent Based Modeling Platforms // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2009. – №22. – Vol. 12. Режим доступа: [//jasss.soc.surrey.ac.uk/12/2/2.html](http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/2/2.html).
  169. **O'Rourke Kevin H., Williamson Jeffrey G.** When did globalization begin? Working paper 7632. [Электронный ресурс]. . Режим доступа: [//www.nber.org/papers/w7632](http://www.nber.org/papers/w7632).
  170. **Opsahl Tore, Agneessens Filip и Skvoretz John** Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths // Social Networks. – № 32 (2010). – 2010. – pp. 245–251.
  171. **Ortiz-Arroyo Daniel** Discovering Sets of Key Players in Social Networks // Computational Social Network Analysis. Trends, Tools and Research Advances /

- Auth. книги Ajith Abraham Aboul-Ella Hassanien and A.J. Sammes (eds.). – Springer-Verlag London Limited, 2010.
172. **Palmer Kent D.** Reflexive Autopoiesis and Weak Measures [Электронный ресурс] // Archonic.net. Режим доступа: [www.archonic.net](http://www.archonic.net).
173. **Phan Binh, Engo-Monsen Kenth, Fjeldstad Oystein D.** Considering clustering measures: Third ties, means, and triplets // Social Networks. – 2013. – pp. 300-308.
174. **Phana Binh, Engø-Monsenb Kenth и Fje Øystein D.** Considering clustering measures: Third ties, means, and triplets // Social Networks. – Elsevier, 2013. – pp. 300-308.
175. **Phellas Constantinos N., Bloch Alice, Seale Clive.** Structured Methods: Interviews, Questionnaires And Observation. 3rd Revised edition // Researching Society and Culture / Auth. Seale Clive. – SAGE Publications Ltd. – 2011. – pp. 181-205.
176. **Porter Michael E.** Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy // Economic Development Quarterly. – 2000. – № 1. Vol. 14. – pp. 15-34.
177. **Porter Michael E.** The competitive advantage of nations // Harvard Business Review. – 1990. – March–April. – pp. 71-91.
178. **Radaev V.V.** Market As a Web of Social Networks // Russian Journal of Management. – 2008. – № 2. Vol. 6. – pp. 47-54.
179. **Railsback S.L., Lytinen S.F. , Jackson. S.** Agent-Based Simulation Platforms: Review And Development Recommendations // Simulation. – September 2006. – № 82. – pp. 609-623.
180. **Robins Garry.** A tutorial on methods for the modeling and analysis of social network data // Journal of Mathematical Psychology. – 2013. – pp. 261-274. – № 57.
181. **Schatten Markuš Bača Miroslav.** A critical review of autopoietic theory and its applications to living, social, organizational and information systems // Druz. istraz. – Zagreb. – 2010. – Vol. 19. – pp. 837-852.
182. **Schein E.H.** Organizational Psychology. – Englewood, NJ : Prentice-Hall, 1965.

183. **Schumann Benjamin.** What the nobel price in economics means for agent-based simulation [Электронный ресурс] // Simulation for Innovation. - Benjamin Schumann, ежим доступа://www.benjamin-schumann.com/blog/2015/10/18/.
184. **Shizuka Daizaburo, McDonald David B.** A social network perspective on measurements of dominance hierarchies // Animal Behaviour. – 2012. –№ 83. – pp. 925-934.
185. **Simmel G.** Individual and Society // The Sociology of Georg Simmel / Auth. K.H.Wolff. – New York : Free Press, 1950.
186. **Skirbekk Sigurd.** "Crisis of sociology"- and consequences for an adequate understanding of contemporary cultural conflicts // Journal of Sociology (Sosiologisk Tidsskrift). – № 3. – 2008. – pp.281-291.
187. **Skvoretz John, Fararo Thomas J. & Agneessens Filip.** Advances in Biased Net Theory: Definitions, Derivations, and Estimations //Social Networks. – № 26 . –2004. – pp. 113-139.
188. Total quality management [Электронный ресурс] //Open electronic paper Forum.msk.ru. Режим доступа://forum-msk.org/material/economic/627 694.html.
189. **Uddin Shahabat, Hossain Linquat.** Dyad and Triad Census Analysis of Crisis Communication Network // Social Networking. – 2013. – №2. – pp. 32-41.
190. **Umpleby Stuart A.** Cybernetics: A General Theory that Includes Command and Control //20th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS). – Annapolis, MD . – June 2015.
191. **Varela F. J.** Autonomy and autopoiesis //Self-Organizing Systems: An interdisciplinary approach / Auth. Roth Schwegler H (eds.). – Frankfurt and New York : Campus Verlag, 1981. – pp. 14-24.
192. **Varela F.** Principles of Biological Autonomy. – New York : Elsevier/North-Holland, 1979.
193. **Varela F., Maturana H., Uribe R.** The organization of living systems, its characterization and model // Biosystems. – № 5. – 1974. – pp. 187-196.
194. **Vittikh V.A.** Evolution of Ideas on Management Processes in the Society : From Cybernetics to Evergetics // Group Decision and Negotiation [Электронный

ресурс] // Springer link. Режим доступа:  
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10726-014-9414-6/fulltext.html>.

195. **von Ferster Heinz.** Observing Systems. – Intersystems Publications. 2nd edition, 1981.
196. **von Ferster Heinz.** Understanding understanding: essays on cybernetics and cognition. – Springer-Verlag New York, Inc., 2003.
197. **Wassermann S. & Faust K.** Social Network Analysis: Methods and Applications. – Cambridge University Press, 1994 г.
198. **Wellman B.** Network analysis: some basic principles //Sociological theory. –Vol. 1. – 1983. – pp.155-200.
199. **Wellman B.** Structural analysis: From method and metaphor to theory and substance //Social structures: A network approach / (Eds.) B.Wellman&S. Berkowitz. –Cambridge, England : Cambridge University Press, 1988.
200. **Whitaker Randall.** Autopoiesis and Enaction [Электронный ресурс] // The Observer Web. – 2013. режим доступа: [www.enolagaia.com](http://www.enolagaia.com).
201. **White H. C.** Where do markets come from? //American Journal of Sociology. –№ 3. – Vol. 87. – 1981.
202. **Wilensky Uri.** NetLogo [Электронный ресурс] //Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. –1999. – Режим доступа:<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
203. **Zeleny M.** Autopoiesis: A Theory of Living Organization. –New York : North Holland Series in General Systems Research. –Vol. 3. –1981.
204. **Zeleny M.** The self-sustainable enterprise [Электронный ресурс] // Firenze University Press - Open Journal Systems. Режим доступа: <http://fupress.net/index.php/ceset/article/download/7136>.
205. **Zeleny Milan** Knowledge and Self-Production Processes in Social Systems. // Systems Science And Cybernetics. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). – Vol. III. – 2001.
206. **Zvereva O. & Berg D.** Agent-based model usage in developing of optimization problem solution in economics //Proceedings of the 1st International Conference on

Engineering and Applied Sciences Optimization, Kos Island, Greece. –4- 6 June 2014. – pp. 33-43.

207. **Zvereva Olga M.** Triad census usage for communication network analysis. [Электронный ресурс] // Proceedings of the 5th international conference on Analysis of Images, Social Networks, and Texts. – 6-8 April 2016. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-1710/>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕОРИИ СИСТЕМ

Таблица А.1 - Современные научные направления, изучающие вопросы управления

Название	Основное содержание	Авторы
Гомеостатика	<p>Исследование причин гомеостаза. Они заключаются в особой структуре равновесной системы, имеющей два полюса (антагониста). Одним и тем же объектом управляют две системы с различными целями, конфликтуя друг с другом. Искусство управления заключается в правильной стимуляции и поддержании этого конфликта. [18]</p> <p>Любое движение есть следствие конфликта. Любое выделение энергии - следствие конфликта. Любое развитие происходит благодаря конфликту. Человек развивается только тогда, когда испытывает внутренний конфликт между своими противоречиями. Причина гармонии - конфликт.</p>	Горский Ю.М.
Концептуальная кибернетика	<p>Кибернетика идей. Подход, включающий сознание, уже не как компонент системы, где оно отличается от других «несознательных» механистичных компонентов; и не как элемент системы/группы биологических подсистем; а как мета-систему управления, где в фокусе находятся правила функционирования самого сознания.</p> <p>Концептуальная кибернетика - переход от чисто спекулятивного подхода к изучению сознания, к включению сознания в контуры управления, к рефлексивному регулированию [4].</p>	С.А. Амплби, В.А. Лефевр
Синергетика	<p>Изучает процессы совместного поведения и явлений самоорганизации произвольной природы диссипативных систем [98]. Самоорганизация - свойство сложных систем самопроизвольно упорядочивать свою внутреннюю структуру путем усиления взаимосвязей и появления новых связей элементов.</p> <p>Система открытая. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение нового порядка и усложнение систем через флуктуации (случайные отклонения) состояний их элементов и подсистем. Такие флуктуации обычно подавляются во всех динамически стабильных и адаптивных системах за счёт отрицательных обратных связей, обеспечивающих сохранение структуры и близкого к равновесию состояния системы.</p>	Школа Германа Хакена, Брюссельская школа Ильи Пригожина

## Продолжение Таблицы А.1

Новая кибернетика	<p>Наука об общих законах и моделях информационного взаимодействия и влияния в процессах и явлениях живой, не живой и искусственной природы, Вселенной и общества. Опираясь на концепции традиционной кибернетики, новая кибернетика имеет следующие новые качества и парадигмы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• вместо термина управление используется термин «влияние и взаимодействие»;</li> <li>• имеет более высокий уровень абстракции;</li> <li>• вместо простых обратных связей рассматривается понятие адаптации;</li> <li>• основной акцент делается на выявлении более общих законов эволюции в развитии живой, не живой и искусственной природы и непосредственно примыкающих к ним законов, связанных с информационным взаимодействием;</li> <li>• наиболее полно новую кибернетику выражает постулат об информационном взаимодействии и влиянии;</li> <li>• новой кибернетике присущ детерминистско-стохастический подход, базирующийся на законе сохранения информации) [89].</li> </ul>	Г.С.Теслер
Эвергетика	<p>Эвергетика – это наука об организации процессов управления в развивающемся обществе, каждый член которого заботится об увеличении культурного наследия, производимого им, которое ведет к подъему культурного потенциала общества в целом, и, как следствие, к увеличению части моральных и этических управленческих решений и соответствующих им действий в жизни общества [194]</p> <p>Эта наука базируется на постнеклассической рациональности и ориентирована на гуманное отношение к человеку в развивающемся обществе.</p> <p>Трансформация «Экономического человека» в «Человека культуры»</p> <p>Общество рассматривается как гетерогенное: состоящее из не одинаковых людей, каждый из которых имеет свое субъективное понимание мира.</p> <p>В основе теория интересубъективного правления.</p>	В.А.Виттих



## Продолжение Таблицы А.1

Субъектно-ориентированное управление в ноосфере: Нi-Nume Cybernetics	<p>Базируется на следующих основаниях:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. в любой системе управление субъективно, в этом смысле для Человека иных систем управления кроме субъектно-ориентированных не существует;</li> <li>2. своей эффективностью управление обязано феномену субъективной деятельности Человека;</li> <li>3. в основе лежит математическое моделирование предпочтений заинтересованных в управлении лиц;</li> <li>4. технологии математического моделирования предпочтений позволяют устранить сложившийся разрыв между описательными и математическими теориями управления;</li> <li>5. для субъектно-ориентированного управления можно выделить специальный раздел математики – исчисление моделей предпочтений [94].</li> </ol>	Харитонов В.А., Алексеев А.О.
--	--	-------------------------------

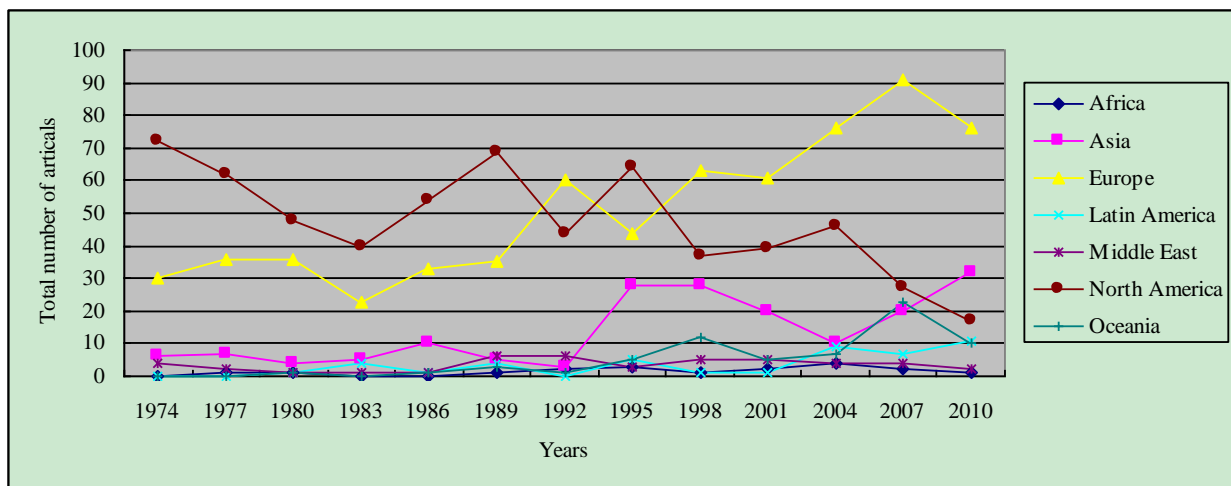


Рисунок А.1 - Количество статей о кибернетике по годам в разных регионах [190]

Таблица А.2 - Поколения теорий систем

Поколение	Рассматриваемые системы	Ключевая концепция	Авторы теорий
Первое поколение	Динамические равновесные системы	Регулирование, гомеостаз	У. Кеннон (гомеостаз) Л.Берталанафи (общая теория систем) Н.Винер (кибернетика) У.Р.Эшби (кибернетика) Т.Парсонс (теория социальных систем)

## Продолжение Таблицы А.2

Второе поколение	Динамические неравновесные самоорганизующиеся системы	Самоорганизация, диссипативность	И. Пригожин (диссипативные структуры) Фон Ферстер (кибернетика второго порядка) М.Эйген (гиперцикл) Х.Хакен (синергетика)
Третье поколение	Самовоспроизводящиеся системы	Аутопоэз	Х.Матурана (аутопоэз) Ф.Варела (аутопоэз) Н.Луман (теория социальных систем)

Теории первого поколения названы теориями динамических сбалансированных систем. Ключевая концепция для этих теорий – концепция гомеостаза. «Гомеостаз – это саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Стремление системы воспроизводить себя, восстанавливать утраченное равновесие, преодолевать сопротивление внешней среды». [17].

Второе поколение теорий систем описывает самоорганизующиеся неравновесные системы. Они сфокусированы на механизме образования структуры системы из беспорядка. Открытые неравновесные системы, активно взаимодействующие с внешней средой, могут приобретать особое динамическое состояние – диссипативность, которую можно определить как качественно своеобразное макроскопическое проявление процессов, протекающих на микроуровне. Неравновесное протекание множества микропроцессов приобретает некоторую интегративную результирующую на макроуровне, которая качественно отличается от того, что происходит с каждым отдельным ее микроэлементом.

Понятие диссипативности тесно связано с понятием параметров порядка. Самоорганизующиеся системы – это обычно очень сложные открытые системы, которые характеризуются огромным числом степеней свободы

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДАННЫЕ ПО ГРУППАМ

Таблица Б.1 – Показатели централизации группы 34 (сеть 34\_гр)

№ п / п	Актор	Вых. цент р. по степ ени	Вх.ц ентр. по степ ени	Вых. центр. по степе ни (норм )	Вх.це нтр. по степе ни (норм )	Выхо д. центр. по близо сти (норм )	Вход . цент р. по близ ости (нор м)	Цент р. по поср едни чест ву (нор м)	Коэф- т взаим ности	Коэф- т класте р. Эго-сети
1	Кира И.	4	9	0,333	0,750	0,600	0,667	1,017	0,800	0,833
2	Алена К.	7	7	0,583	0,583	0,706	0,600	0,000	0,875	0,806
3	Вадим К.	2	8	0,167	0,667	0,429	0,667	0,152	0,733	0,819
4	Евгений К.	12	6	1,000	0,500	1,000	0,600	2,659	0,643	0,644
5	Ольга Л.	11	7	0,917	0,583	0,923	0,600	0,714	0,438	0,644
6	Денис М.	12	8	1,000	0,667	1,000	0,667	3,580	0,750	0,629
7	Виктория Н.	12	9	1,000	0,750	1,000	0,706	5,538	0,750	0,621
8	Фируз Н.	0	10	0,000	0,833	-	-	0,000	0,750	0,744
9	Юлия О.	12	9	1,000	0,750	1,000	0,667	9,048	0,563	0,621
10	Анна П.	12	6	1,000	0,500	1,000	0,571	0,234	0,833	0,644
11	Андрей С.	5	8	0,417	0,667	0,632	0,667	7,702	0,875	0,857
12	Софья С.	11	9	0,917	0,750	0,923	0,706	4,773	0,750	0,664
13	Максим Т.	3	7	0,250	0,583	0,571	0,600	0,189	0,615	0,768

Таблица Б.2 –Показатели централизации группы 35 (сеть 35\_гр)

№ п/п	Актор	Вых. цент р. по степ ени	Вх.це нтр. по степе ни	Вых. цент р. по степе ни (норм )	Вх.це нтр. по степе ни (норм )	Вых од. цент р. по близ ости (нор м)	Вход. цент р. по близо сти (норм )	Цент р. по поср едни чест ву (нор м)	Коэф -т взаи мнос ти	Коэф -т клас тер
1	Валери я Г.	15	12	0,938	0,75	0,941	0,800	0,897	0,800	0,819
2	Игорь З.	14	16	0,875	1	0,889	1,000	2,099	0,875	0,792
3	Тимур К.	12	14	0,75	0,875	0,800	0,889	1,235	0,733	0,829
4	Никита К.	10	13	0,625	0,813	0,727	0,842	0,937	0,643	0,863
5	Дарья Л.	8	15	0,5	0,938	0,667	0,941	0,594	0,438	0,821
6	Юлия П.	16	12	1	0,75	1,000	0,800	1,204	0,750	0,800
7	Дарья П.	13	15	0,813	0,938	0,842	0,941	2,528	0,750	0,800
8	Наталь я С.	15	13	0,938	0,813	0,941	0,842	2,128	0,750	0,800
9	Алекса ндр С.	16	9	1	0,563	1,000	0,696	0,543	0,563	0,813
10	Евгени й С.	12	10	0,75	0,625	0,800	0,727	0,358	0,833	0,894
11	Леонид С.	16	14	1	0,875	1,000	0,889	1,804	0,875	0,792
12	Ольга С.	16	12	1	0,75	1,000	0,800	2,031	0,750	0,800
13	Ян Т.	11	10	0,688	0,625	0,762	0,727	0,213	0,615	0,853
14	Ольга Т.	7	13	0,438	0,813	0,640	0,842	0,357	0,538	0,865
15	Алексе й Ч.	10	15	0,625	0,938	0,727	0,941	1,071	0,667	0,824
16	Юрий Ч.	13	12	0,813	0,75	0,842	0,800	1,289	0,667	0,824
17	Анна Ш.	16	15	1	0,938	1,000	0,941	2,378	0,938	0,788

Таблица Б.3 – Показатели централизации группы 44 (сеть 44\_гр)

№ п/п	Актор	Вых. центр. по степени	Вх. центр. по степени	Вых. центр. по степени (норм)	Вх. центр. по степени (норм)	Выход. центр. по близости (норм)	Вход. центр. по близости (норм)	Центр. по посредничеству (норм)	Коэф-т взаимности	Коэф-т кластер
1	Лев А.	0	11	0	0,688	-	-	0,000	0,000	0,682
2	Данил Б.	12	7	0,75	0,438	0,696	0,552	1,770	0,583	0,629
3	Наталья Б.	13	11	0,813	0,688	0,727	0,640	5,269	0,600	0,519
4	Дарья В.	12	11	0,75	0,688	0,696	0,640	3,792	0,643	0,560
5	Никита Г.	1	5	0,063	0,313	0,340	0,533	0,000	0,200	0,700
6	Галина Д.	9	6	0,563	0,375	0,615	0,533	0,130	0,667	0,750
7	Максим К.	8	4	0,5	0,25	0,593	0,485	0,397	0,500	0,554
8	Мария К.	11	9	0,688	0,563	0,667	0,593	1,492	0,818	0,691
9	Никита М.	4	11	0,25	0,688	0,485	0,667	6,823	0,364	0,645
10	Павел М.	11	12	0,688	0,75	0,667	0,696	6,557	0,769	0,596
11	Анастасия М.	13	12	0,813	0,75	0,762	0,667	10,471	0,563	0,475
12	Дарья М.	3	3	0,188	0,188	0,500	0,457	0,208	0,500	0,583
13	Андрей М.	6	2	0,375	0,125	0,615	0,200	0,000	0,000	0,554
14	Юлия Н.	11	10	0,688	0,625	0,667	0,615	4,065	0,615	0,596
15	Михаил П.	11	9	0,689	0,563	0,667	0,667	4,883	0,667	0,591
16	Евгений Р.	10	8	0,625	0,5	0,615	0,615	2,700	0,636	0,591
17	Антон С.	4	8	0,25	0,5	0,516	0,533	0,192	0,333	0,750

Таблица Б.4 – Показатели централизации группы 45 (сеть 45\_гр)

№ п/п	Актор	Вых. цент р. по степ ени	Вх. цент р. по степ ени	Вых. цент р. по степ ени (норм)	Вх.ц ентр. по степ ени (норм)	Вых од. цент р. по близ ости (норм)	Вход . цент р. по близ ости (норм)	Цент р. по поср едни чест ву (норм)	Коэф -т взаи мнос ти	Коэф-т кластер
1	Владимир В.	16	8	0,552	0,276	0,783	0,563	7,270	0,500	0,188
2	Антон В.	13	4	0,448	0,138	0,600	0,486	3,119	0,133	0,148
3	Ксения Ж.	6	3	0,207	0,103	0,545	0,400	0,532	0,500	0,267
4	Сергей И.	0	5	0	0,172	-	-	0,000	0,000	0,050
5	Марина К.	11	9	0,379	0,31	0,643	0,529	7,324	0,818	0,355
6	Андрей К.	6	4	0,207	0,138	0,563	0,667	1,083	0,111	0,236
7	Елизавета Л.	4	6	0,138	0,207	0,486	0,429	0,778	0,429	0,429
8	Анастасия Л.	20	7	0,69	0,241	0,720	0,514	7,788	0,350	0,195
9	Дарья М.	0	7	0	0,241	-	-	0,000	0,000	0,524
10	Лилия М.	0	4	0	0,138	-	-	0,000	0,000	0,333
11	Максим М.	0	3	0	0,103	-	-	0,000	0,000	0,167
12	Владислав М.	7	7	0,241	0,241	0,486	0,581	1,571	0,400	0,367
13	Наталья М.	9	7	0,31	0,241	0,563	0,545	3,755	0,778	0,278
14	Василий М.	8	3	0,276	0,103	0,545	0,529	0,621	0,375	0,250
15	Герман Н.	17	8	0,586	0,276	0,667	0,5	7,917	0,471	0,199
16	Богдан Н.	0	3	0	0,103	-	-	0,000	0,000	1,000
17	Михаил О.	2	11	0,069	0,379	0,286	0,563	0,477	0,083	0,447

Продолжение Таблицы Б.4

№ п/ п	Актор	Вых. цент р. по степ ени	Вх. цен тр. по сте пен и	Вых. цент р. по степ ени (нор м)	Вх.ц ентр. по степ ени (нор м)	Вых од. цент р. по близ ости (нор м)	Вход . цент р. по близ ости (нор м)	Цент р. по поср едни чест ву (нор м)	Коэф -т взаи мнос ти	Коэф-т кластер
18	Полина П.	6	5	0,207	0,172	0,5	0,563	0,350	0,833	0,700
19	Ирина П.	8	7	0,276	0,241	0,563	0,439	3,749	0,875	0,554
20	Дмитри й П.	0	5	0	0,172	-		0,000	0,000	0,350
21	Эдуард П.	5	6	0,172	0,207	0,34	0,563	0,691	0,375	0,375
22	Ксения П.	0	3	0	0,103	-	-	0,000	0,000	0,500
23	Евгений С.	0	7	0	0,241	-	-	0,000	0,000	0,429
24	Марина С.	12	4	0,414	0,138	0,563	0,45	1,208	0,333	0,250
25	Владисл ав С.	0	4	0	0,138	-	-	0,000	0,000	0,500
26	Фрол С.	0	4	0	0,138	-	-	0,000	0,000	0,333
27	Алина Т.	0	4	0	0,138	-	-	0,000	0,000	0,833
28	Христин а Ф.	12	10	0,414	0,345	0,667	0,667	4,597	0,467	0,310
29	Любовь Ш.	12	6	0,414	0,207	0,621	0,474	2,776	0,385	0,269
30	Ирина Я.	1	11	0,034	0,379	0,375	0,621	0,549	0,091	0,300

Показатели по близости рассчитаны для связной компоненты.